

地震予知研究ノート

No.2

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3月

目次

		ページ
前兆現象の研究のために	佃 為成	2～6
聞き込み調査	佃 為成	7～28
資料：兵庫県南部地震の聞き込み調査証言例	佃 為成	29～39
アンケート調査（兵庫県南部地震）	佃 為成	40～47
資料：兵庫県南部地震アンケート回答例		48～86
付録：兵庫県南部地震被害の実況放送	佃 為成	87～96

聞き込み調査

佃 為成

§ 1. 聞き込み調査の手法

調査拠点

じっくり調査を行うには、調査拠点としての宿泊所が必要である。地の利を活かせる場所で、調査の準備、資料の整理などの活動がスムーズに行えることが条件である。

調査の手始めの定石

大地震の調査において、役場や市役所に出向き、その土地のおおよその地理的特質やその地域特有の事情をつかむことから始める。これを調査開始の定石とする。あらかじめ下調べをしておくものの、そこで教わることは非常に多い。地震の激震地区は、職員の方も我々に応対する余裕はまだないと思われるので、周辺の比較的被害の軽微な地域から始める。周辺地域の調査は、地震に関する色々な現象の発生域の広がりを見るにも重要である。

赴くところは総務課が多いが、調査のポイントによっては、土木課や観光課の場合もある。

地震の調査に参りましたという挨拶から入るのだから、当然、震災の被害状況の話から伺う。救援活動や各所の施設からの報告を聞くのも、災害や地変の有様を知るのに役立つ。

役場などでは、地域の詳しい地図や歴史資料などを提供してもらうこともある。また、その職員から、地震に関する証言が得られる場合もある。仕事に関わる場合もあるが、一市民としての体験も多い。

行政機関として消防署も調査の手がかりをつかむには重要である。直接、災害や防災に関係している役所であり、横の連絡網もしっかりしている。

最初につかんだ情報を鍵に行動を起こす。役場などで入手した情報、新聞、テレビ、ラジオなどで入手した情報、偶然出会った人から聞いた情報を手がかりに、調査を開始する。

現象を目撃した人を捜す第一歩

ある現象に目を付けて調査をする。1995年兵庫県南部地震では震災直後、発光現象が新聞などで報道されていた。その発光現象に関する聞き込みを例に話を述べる。兵庫県南部地震は早朝発生した。大抵の人はまだ就寝中で、地震の前後の

様子の変化や地震の瞬間を観察できた人は限られている。新聞の販売店を見つけ、朝刊を配達していた人を捜すのがよいと判断した。

猪名川町を根拠地に定め調査をスタートした。聞き込み調査の最初の日（1995年1月24日）、その夕方から発光現象にねらいを定めて、日生ニュータウンにある新聞店を訪ねた。これが調査の第一歩であった。

配達員の一人、
さんは、配達前の犬を連れての散歩中であつたが、小川にかかった小さな橋を渡っているとき、地震がきた。大きな横ゆれを感じ、とっさにしゃがみ込んでしまった。辺りは真っ暗で、光などは出なかつたそうである。発光現象の最初の調査は否定的な証言から始まつた。

ところが、後日の1月31日、隣接する別の販売店に勤務する
さんは配達中に南の方角に光を見ていることを知つた。その日の午前中、有馬温泉の温泉の調査を行った。午後は発光現象の証言を求めて神戸の西部方面へ向かう予定にしていた。しかし、雪が降りしきっていて、猪名川まで帰り着けない恐れがあるので、猪名川町の調査に切り替えたのだつた。日生ニュータウンの新聞店は二度目の訪問となつた。
さんと同じ新聞販売店の女性の息子さんも自宅で青白い稲妻を見たという。

実はここを3回訪問している。最後は
さんの地震体験現場を確認した。そのときの頭の向きは、
さんが見た方向と反対であつた。発光源が方角によっては見えないのは当然である。

早朝に活動している人は以外に多い。犬といっしょの散歩を日課としている人が結構いる。健康維持のため、散歩やジョギングをやっている人たちもいる。六甲周辺にある標高300～500mの小高い山（甲山、菊水山、高取山など）に早朝、散歩で登っている人もいる。

仕事で早朝出勤している人もいる。こういう人たちを捜し出す。これも、聞き込みによってそういう人の情報を得ることができる。情報は聞き込みを行う度に増える。

再調査可能な情報を確保

最初のうちは情報源の探索に精力を集中する。したがって、調査の内容が薄くなる。あれも聞きたい、これも聞きたい、と思う。だが、話を聞く現場は、大学の研究室や会議室、あるいは喫茶店などのようなゆったりした状況ではない。短時間しかインタビューできない場合が多いので、話の内容をあとでもう一度確認ができるよう、電話などの連絡先は必ず教えてもらう。

情報を求めて移動する

土地勘を養うのも重要なので、根拠地を中心に、できるだけ色々な道を通ってみる。

最初から寄ってみるつもりのある場所もあるが、行きあたりばったりの訪問場所もある。田園地帯では、気軽に作業している人に声をかける。食事時も、店の人から情報を聞き出す。

兵庫県南部地震のような都市の災害では、とくに激震地区は、救援活動や復旧活動で全国からやってきた工事車両や貨物自動車で主要な道が混雑する。横道も、倒壊家屋が道を塞いでいたり、復旧工事のための作業スペースになった箇所が多く、まともに走れない。周辺地域でも、救援物資を運ぶ大型トラックや迂回して回り込んだ運送用自動車のため、どの道路も渋滞になる。

渋滞で時間を費やし、帰りは夜遅くなる。夜の運転は楽ではない。周囲の風景が見えないし、困ったことに道路標識も大きな字は分かるが小さい字が見えにくい。さらに、標識にはその道の行き先を示したものが多い。その表示の行き先へ向かっているのであれば、それに従えばよいが、そうでない場合、自分の位置がわからないのは非常に不安である。その場所を示す固有名詞を見つけることが重要である。最近では、ナビゲーションシステムが利用できるので調査も楽になった。

情報提供の協力依頼

市役所や消防署、その他の公共施設に関係している方からばかりでなく、民間の機関や自治組織の関係者からの情報提供も重要である。人が集まるホテルや、土木工事、運送、鉄道などの事業所にも協力を依頼する。

広い情報網をもつ報道機関も利用しない手はない。調査研究が新聞などに報道されると、一般市民の方からも情報が寄せられるようになる。

次に、聞き込み調査の具体的な例として、1990年イラン・ルドバール地震(M7.3)や1995年兵庫県南部地震(M7.3)、そのほかの地震について記載する。聞き込みのエピソードや得られた主な成果を中心に述べる。

§ 2. 1990年イラン・ルドバール地震(M7.3)の聞き込み調査

イラン・ルドバール地震は世界時間で1990年6月20日21時00分(現地時間では6月21日00時30分)に発生した。場所は世界最大の湖、カスピ海の南部の沿岸に近い。カスピ海は淡水である。海岸の砂浜には蛙がいる。震源はこの湖から南に50～60km、イランの首都テヘランからは北西に約250kmの距離にある。震源地付近にはルドバール市やマンジール市がある。

イランには、北部ではカスピ海沿岸に沿って東西に延びる地震帯、南部ではペルシャ湾沿岸地域に沿って北西-南東方向に延びる地震帯、それに東部においてほぼ南北に延びる地震帯がある。地球規模で見ると、イランの地震帯は世界の屋

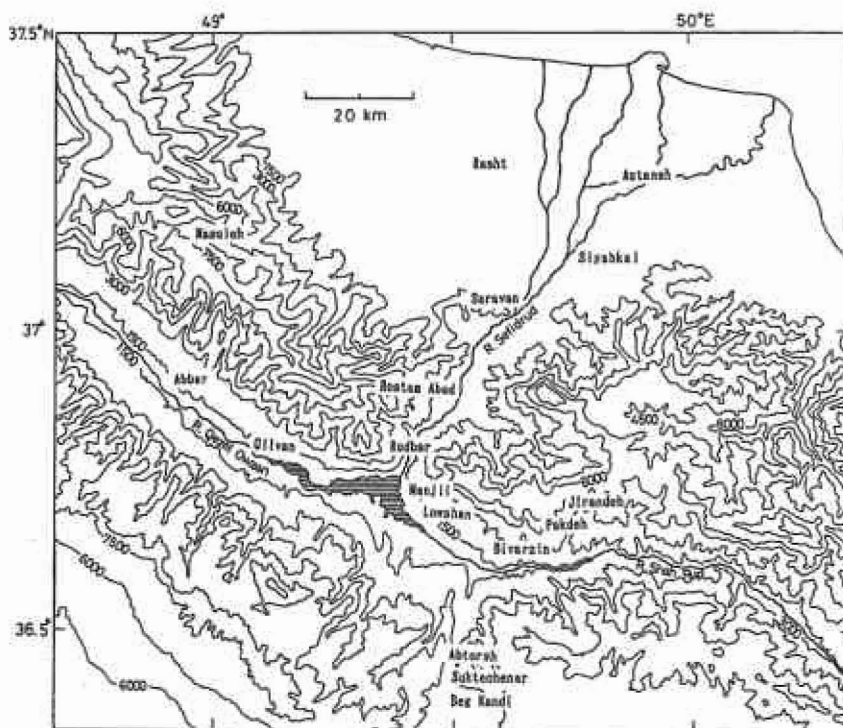
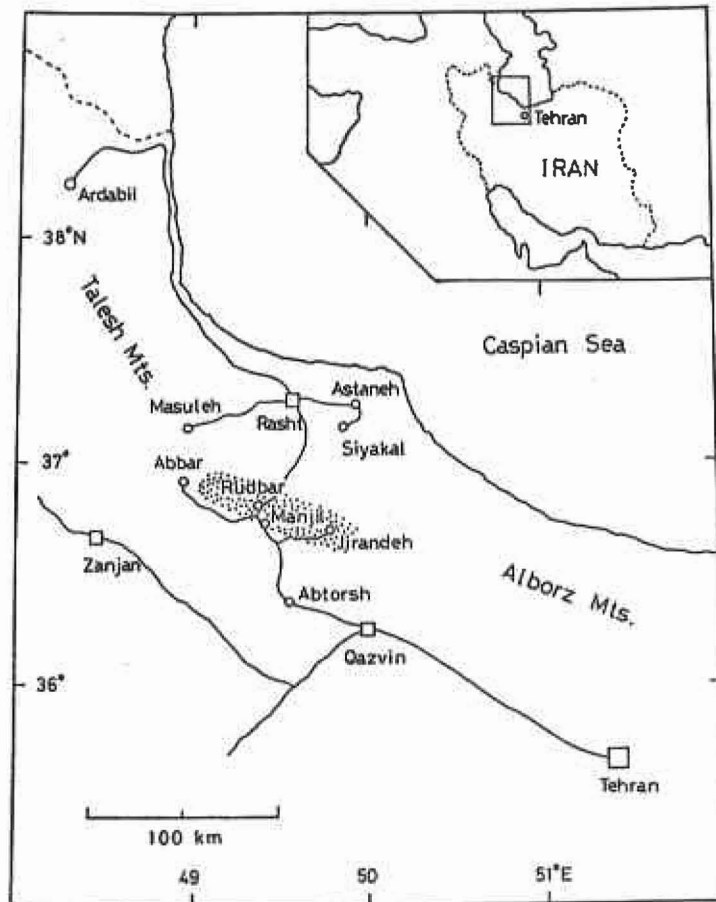


図1 イラン地震調査地域。上図影の領域が震源域

根ヒマラヤ山脈付近からヨーロッパのアルプス山脈へ至る地震帯に属している。

この地震のマグニチュード（テヘラン大学計測のローカルマグニチュード）は 7.3 である。震源断層は北西—南東方向走向で、長さ 70km に達した。南東部では断層が少し顔を出したところがある。

このイランの地震に際し、政府は国際緊急援助法に基づきいち早く救助隊や医療援助隊を派遣した。その法律が施行されたのは 1987 年 9 月であるが、実際に救助隊（レスキュー隊）が外国に派遣されたのはイラン地震が初めてであった。

1990 年当時、すでに国際化の波が進行中であった。イラン地震のような大災害に対して国際的な貢献が求められ、文部省（現在の文部科学省）も学術調査隊を派遣することになった。従来の被害調査ではなく、余震の観測研究を主な任務とし、緊急の場合のため大学合同班ではなく東大地震研究所一機関で行うことになった。

調査には筆者と信越地震観測所の酒井 要氏と橋本信一氏、当時東大大学院に留学中のイラン人学生、
氏を加えた人員でチームを編成した。現地で、アジア経済研究所の研究員でイランに滞在中の鈴木 均氏にも通訳として参加してもらった。

筆者は微小地震という、ほとんど人体に感じないような小さな地震を研究の対象にして長年過ごしてきた。また、地震の研究を志してから一度も大震災を経験したことがない。日本国内は長い間、地震に関しては平和な時代が続いていた。大震災と言え、外国の出来事であった。

イラン地震の調査は外国の大地震調査としても、大震災そのものの調査としても国の内外を通じて初体験であった。以前、トルコの地震観測調査に参加したことがあり、中近東の国の生活習慣については、多少は知っている。しかし、イランは政治体制や経済体制が大変異なるイスラム原理主義の国である。例えば、歌舞音曲の類やお酒を飲むこともご法度である。自由に馴れた者にしてみれば非常に窮屈な国である。

地震の震源地付近の山間部はさそりやガラガラ蛇、狼がでるといふ。震災のため、電気や水が使えるかどうか疑わしい。第一、道路は通行できるのか、さまざまな不安を抱え、それに対処するための計画を練って行く。国からお金を出してもらうために予算も見積らなければならない。

東大東洋文化研究所や東京外国語大学の先生方の指導を受け、その紹介でイラン在住の研究家とも国際電話で話をすることができ、だんだんと現地の様子が掴めるようになった。

ルドバールまでは車で入ることができそうなこと、もし必要ならば運転手付きで車（日本車）を調達できること、通訳として調査に同行してくれる人もいることなど調査実現へ向けての現地工作の手ごたえが伝わってくる。

文部省、外務省、東京のイラン大使館、テヘラン大学地球物理研究所などとの連絡や打ち合せ、渡航の手続きを進める一方、持っていく観測機器の調整、発電

機などの器材や非常用野外テント、保存食料などを至急取り寄せた。資材は全部で 586kg にもなった。7 月 12 日、この荷物と同じ飛行機でテヘランへ飛ぶ。地震災害の援助物資を運ぶ荷物と同格に扱ってもらった。この荷物を受け取るための通関手続きに 1 週間を要した。

聞き込み

イラン地震の調査は地震の余震観測が目的であったが、観測の合間に各地の住民からいろいろな話を聞くように心がけた。聞き込み調査をこの時は意識していなかったが、自然にそのような調査を展開していった。

ルドバール地震が発生してから、1 カ月近く経って、1990 年 7 月 18 日、ようやく現地へ向かった。テヘラン大学のスタッフとアジア経済研究所研究員の鈴木均氏が同行する。車は大学の公用車である。

余震観測の合間、それぞれの町や村の住民と会話を交わす。すると、長老はたいていイラン・イラク戦争の話と地震の話と結びつけて、「8 年間のイラクとの戦争では 25 人死んだのに地震では 460 人ものがいっぺんに死んだ」というように語る。

「地震は怖い。なんとかならんか」と言ってきた老人もいた。イスラムのお教えでは信者への試練、警告、最後の審判のため神が起こすものだと考えられている。それでも、科学の力で地震の発生を予知できないかというのも自然な人間の気持ちではないかと思う。

「潰れた家のそばにテントを建ててよいものだろうか」、「冬になったらこんなテントでは生活できない、政府に頼んでなんとかしてくれないか」といった相談も受けた。

地震動についての証言を紹介しよう。震源地から南方 40 km にある山頂のテレビ中継所の職員の話。

「地震があった日、サッカーのワールドカップの試合の中継を見るため宿直室のテレビのスイッチを入れた。」

この国でもサッカーは大人気であって、深夜のテレビで観戦していた人は多いらしい。起きていた人は地震後すぐ家から飛び出て、崩壊の下敷にならずに済んだという話もよく聞いた。

「しばらくして、地震が始まったので、廊下に出てドアを閉めた。すると、大きな横ゆれがきて、廊下に沿って最初西へ、次に東へ身体をもって行かれた。その後、1 分間ほど続く小刻みの縦ゆれに変わった。あとで寝るために横になると地面が波うっているように感じた。」

実は、これだけの証言を得るのに、何回も質問をし、さらに別の日に、鈴木均さんが出かけて行って、もう一度確認するということまでやっている。

話は当初、断片的で、最初に大きな横ゆれがきて、次に小さい縦ゆれがきたと

彼は言った。神戸のような直下地震でははっきりわからないが、普通の地震だけは、まず小さな縦ゆれがきて、次に大きな横ゆれがくる。ところが、彼の言っていることは正反対だ。そこで、地震のとき、どのように立居振舞ったかを詳しく聞いたところ、テレビのスイッチを入れたすぐ後から廊下で大きな横ゆれを感じるまでに、小さなゆれを感じていたことがわかった。

最初の縦ゆれと次の横ゆれの間の初期微動はやはりあったのである。これをあまり重要だとは思わなかったので最初の話では省略してしまったようだ。

地下水の異常

震源地から、北へ 60 km ほど行ったカスピ海沿岸のデルタ地帯の町 Astaneh では、地震のとき液状化が起り、水が地下から噴き出した。

この地域はだいたい北緯 37 度で、日本では富山県あたりに相当する。雨も適当に降るらしく、木々の緑が目につく。山脈を南に越えた地域の赤茶けた山肌の景色とは打って変わっている。

水柱は最高 2m50cm に達した。50cm ぐらいの深さで一帯が水浸しになったが、その水の温度が最初熱かったということである。何度くらいとう質問には 50℃ という答えが返ってきた。本当かなあと思っても、これ以上、聞き返す言葉がない。

液状化したところは温泉地ではない。熱い水が嘘とも思われない。日本ではこんな話を聞いたことがない。今回の神戸の埋立地でも、まだそんな話は入っ来なかった。

ところが、イラン地震と同じ年に発生した 1990 年 7 月 16 日のフィリピン地震のときも、液状化に伴って広範囲に熱水が噴き出し、住民の証言によると、魚が煮えるくらい熱かったと証言したそうである（浜田ほか, 1991）。この場合も熱水は一時的なもので、温泉と直接結びつく証拠はない。

イランとフィリピンの熱水の現象は、いずれも液状化とともに発生した。最初は、液状化現象に付随する現象かと考えた。もし、液状化に熱水発生が伴うものであれば、日本でもそのような報告があつてよい。なぜなら、日本は頻繁に大地震が発生し、その度に液状化が発生しているからである。しかし、そのような報告や筆者の調査でも、一度もそのようなことは聞いたことがない。したがって、液状化と熱水噴出は互いに独立の現象であつて、イランやフィリピンではたまたま同時に発生したと考えるのが妥当である。

その後、日本各地で井戸水に熱水や温水が混じる現象が見つかった。そして深部流体上昇仮説の登場である（Tsukuda et al., 2005; 佃, 2007）。地下深い岩盤の変形に伴う応力変化によって間隙水・ガスが移動、とくに上昇することが、時々各地で発生しているらしい。大地震の準備過程や大地震発生後の余効変動のサインとして発生するのではないかと考えている。

発光現象

発光現象についても、いくつか証言が得られた。先に紹介した、テレビ中継所の職員は「地震のあと全体的に空が赤くなった」と証言し、その中継所の外で作業をしていた青年は「はじめ北から風が吹いて地震がきた。空の2方向に光を見た。地鳴りが聞こえた」と話した。

震源城南東部の部落では、一人の青年は「空全体が黄色く光っていた。地鳴りも聞こえた」と語り、また別の青年によると、その日作物に水をやる仕事をしてきた農民が、「地震の前に発光、黄色と緑の光がぶつかって炸裂して見えた」と話していたということである。

震源から 50km 北西の町では、老人の証言として「地震の後、東から西へ光が走った。色ははっきりしない」があるが、この町に駐在しているパキスタン人の医師は発光を否定した。しかし、彼は地震時は寝ていて、直後に発光したのであれば気づかなかった可能性はある。

地下の発光現象

地下にできた大きな地震断層の南東の端にあたる部落 Pakedeh 村での話。そこには大きな地割れであった。そこから「火」を吹いたという。しかし、草が焼けただような様子はなかった。その火は炎の意味だそうだが、発光現象だった可能性もある。別の証言では地割れから「ガス」を見たという。このガスがもやのようなものようだが、その実態は不明。その地割れは深さ 10m ぐらいで、そこに子供が落ちたが無事に救出されたそうである。火もガスも何か光を見たことを意味する可能性がある。

異常現象の証言は以上しかない。地震計を設置した場所の近傍しか、調査する余裕がなかったし、現地調査の期間は、3週間のイラン滞在中でも、わずかに1週間しかなかった。

それでもとにかく証言が少しでも得られたのは、鈴木 均さんという語学力が達者で、彼自身もイランにおける地域研究を手掛けている研究者をチームにもったからである。

§ 3. 1995年兵庫県南部地震 (M7.3) の聞き込み調査

1995年1月17日05時46分に発生した兵庫県南部地震は地震調査の上でも特質すべきものであった。人口密集地帯直下で発生し、地震に関する異常現象の証言が数多く得られた。聞き込み調査方法にも、車による移動、携帯電話の使用といった近代的な方法を駆使することができた。

最初に被災地に入ったのは、1月21日であるが、一旦激震地区の様子を検分したあと京都で本調査の準備を整えた。1995年1月17日の地震発生から1週間後の1月24日、京都から軽自動車のレンタカーを運転して兵庫県川辺郡猪名川町に来た。最初にこの地にやってきたのは、兵庫県南部地震の数カ月前にここで発生した群発地震のことが気になったからである。結局、この町を根拠地として、2月10日までの約3週間、ここから各地へ出かけて行った。

猪名川町へ来て、役場付近の旅館に泊まろうと思ったが、2つとも満室であった。今度の震災で、救援に来ておられる人たちの予約で当分は空きそうにないとのことであった。それでは仕方がない、旅行の雑誌をめくって、近隣の宿を捜し、片っ端から電話をかける。

三田市も篠山町も駄目であった。やはり、救援に来られた人たちでいっぱいのである。猪名川町の分の最後にペンションの名前が載っていた。だめだろうと思って電話したところ、部屋が空いているとのこと。「これは助かった」と思った。こちらは地震のためキャンセルした客が多いのだそうだ。

場所は猪名川町の北西、大野山の麓の部落柏原。カナダ産米松の丸太で組んだ2階建てのペンションが宿舎である。2階は客室で、2段ベッドの部屋もあるが、畳の部屋もある。筆者は畳の部屋が大好きである。資料を自由に広げられるからだ。この部屋に17泊の逗留となった。

この部屋で、1月25日23時16分、M4.7の余震の揺れを体験した。まずドーンときて、横揺れはわずかしかなかった。ドーンが最初のP波なのか、S波を感じたのか、よく覚えていない。

ここの風呂は岩風呂で温泉気分を満喫できる。自噴している地下水をボイラーで沸かした湯である。この地下水は地震のとき、4℃ほど温度が上がった。現在、その温度変化の追跡の観測をやらせてもらっている。3年ほどで水温が落ち着き、その後、高精度水温計を用いて観測を現在まで継続しているが、2002年ごろからの地殻変動変化に同期した水温上昇変化がとらえられた。

地震の影響は、思わぬところにも現れた。猪名川町や川西市のニュータウンは都市ガスを使っている。今度の震災で、ガスの供給を止められてしまった。食事などには、電気や小さいプロパンガスボンベが代わりに使えるが、風呂を沸かせない。

お風呂を求めて、このペンションにも大勢の人が毎晩やってきた。

1日の調査が終って、30畳の広い部屋で夕食をとっているころ、お風呂のお客さんがいらっしゃる。家族でまとまって来られる場合が大半である。

順番待ちのお客さんも大きな木のテーブルにつき、堀炬燵風に下げてある床へ足を下ろして座る。お茶を飲みながら会話が始まる。筆者も話の輪に入れてもらう。

この時期であるから、地震の話が多い。被害の話、見てきた話が参考になる。こちら地震の解説者の役を演ずる。

若者のグループと話をしていたら、名神高速豊中インターが話題になった。幾日前、トラック運転手から電話で、地震に遭遇した話を聞いたのだが、現場であるそのインターチェンジの様子がよくわからなかった。なんとグループの一人の女性の父親がそのインターチェンジの料金所に勤務しているとのことである。

後日、そのお父さんに電話し、インターチェンジの様子を聞いた。地震のとき料金所の屋根が落ちた。運転手の話では、その下になり絶望かと思われていた軽トラックの運転手の命に別状はなかったとのことであった。

地震予知は不可能だから、予知のお金を災害防止に回した方がいいとテレビで言っていたという話をしてくれた郵便局に勤めている若者もいた。それについては、予知も大切でそのお金は災害防止に比べれば、額が小さいことなどをしゃべった。

2月4、5日ごろには、都市ガス再開とともに、お風呂を訪れる人々はいなくなってしまうが、それまでは、さまざまな情報を提供してもらった。

猪名川の次の筋書きには有馬温泉があった。ここは、昔から群発地震がたびたびあり、また、過去の地震の時、温泉の温度が変化したことも知られていたからである。

温泉や地下水のような「水もの」の調査も筋書きに描いていた。あとで水温観測をやることになったが、これは当初の予定にはなかった。

その次のプランは六甲山や摩耶山。山の上では地震のときどのように揺れたのか、発光現象があれば山頂ではどう見えたのかを知りたいと思った。

あとは成行き任せで、前に立ちはだかるこの六甲山を、ある時は横断し、ある時は東、西に迂回して、時折、激震地区へも入ってみた。

役所の訪問は猪名川町、三田市、神戸市のそれぞれが手始めであった。赴くところは総務課が多い。神戸市の場合は経済局観光課であった。温泉に関係するからである。

猪名川町役場での聞き込みによって、町の被害は、負傷者3人、うち1人は外へ飛び出して骨折、町の体育館（文化体育館イナホール）の天井が落下、小学校の体育館のガラス破損が主なものであることがわかった。これ以外に、屋根瓦がずれるなどの被害があった。おそらく、この地域の震度は5ぐらいのはずであるから、このくらいの被害はあろうかと合点した。

次に三田市役所に入る。体育館の天井の落下などはなかったらしい。家屋の全壊や半壊もない。地震直後市の中心部では停電したが、午前09時半ごろには回復した。山間部やニュータウンでは停電はなかった。都市ガスの供給はニュータウンだけであるが、供給の停止はなかった。地元の新聞「六甲タイムス」によると、1月23日現在、負傷者15名、一部破損家屋85戸、ガスもれ2ヶ所、鉄道不通はJR線と神戸電鉄、公共施設では市役所と市民病院で窓ガラス破損となっている。

神戸市北区役所有馬出張所では、有馬温泉の被害状況を聞いた。ホテルや旅館

の被害状況の一覧表を見せてもらう。ガラスが割れたところが多い。水道パイプ故障、ガス（プロパン）の設備の故障、壁に亀裂、柱の傾斜、屋根破損、石垣崩壊、風呂・プールの水抜け、雨漏りなどが報告されている。それでも早いところは、地震から2日後の1月19日から営業再開に踏み切っている。温泉そのものの被害はないようだった。

崖の崩壊箇所では、崩壊を免れている部分でも、異様に膨らんだところがある。土の側圧を受けているようだ。

今度の地震では、周辺の市町村は救援隊を激震地へ派遣した。猪名川町は地震発生の日の11時には、水やおにぎりなどの食料を乗せて、芦屋市へ出発している。三田市も2トン給水車8台、そのほか毛布や豚汁4000食などを積み、消防車を先頭ならびに最後尾につけて、西宮、芦屋、神戸へ向かった。その道筋では、六甲山の北、浜坂では落石があって道路が渋滞したそうである。

このような救援活動などを通して、被害が大きい地域の情報も入ってくる。宝塚市の中山台や川西市小戸なども、全壊家屋が多数出ていることは、猪名川町の役場で初めて聞いた。

震災の調査に携帯電話（アナログ）が利用できたのは、兵庫県南部地震あたりが最初ではないかと思う。目撃者との面会の打ち合せや、電話取材も可能となった。但し、山間部では電波が届かず、電話器の液晶パネルには、むなしく「圏外」と表示される。それに、六甲山の上も、携帯電話の中継所が遠いのか、電波が弱い。渋滞で車が少しも進まないとき、このときとばかり電話連絡をする。

発光現象の証言を求めて

「空が青く光った」、「山の上に稲妻が光った」、「オレンジ色の光が見えた」、「サーチライトのような光だった」など、兵庫県南部地震でも、地震のとき光る現象を目撃した人が多くいた。筆者が直接聞いた人だけでも、30人ぐらいいはいる。この不思議な発光現象の正体を求める聞き込み調査が始まった。

日本では、30年前の長野県松代群発地震以来、地震にともなう発光現象の話聞くことは長い間なかった。1983年9月14日の長野県西部地震（M6.8）の発生時刻は午前08時48分であり、夜が明けてしまっていて、光を発しても観察できなかったのかもしれない。松代の場合も発光の目撃はすべて夜である。海の大地震の場合は、震源域が陸に近いのか、陸の下まで達していなければ、発光に至らないのであろう。

内陸直下大地震発生のニュースが入ったとき、筆者は発光現象が必ず目撃されると思っていた。その目撃者を捜し、現場を確認した上で、発光の実態に迫る。そのことを実行しいと考えていた。

光の像はどのような形をしていたか、光の強さ、色はどうであったか、その発光源がどこにあり、全体でどのように分布していたのだろうか。

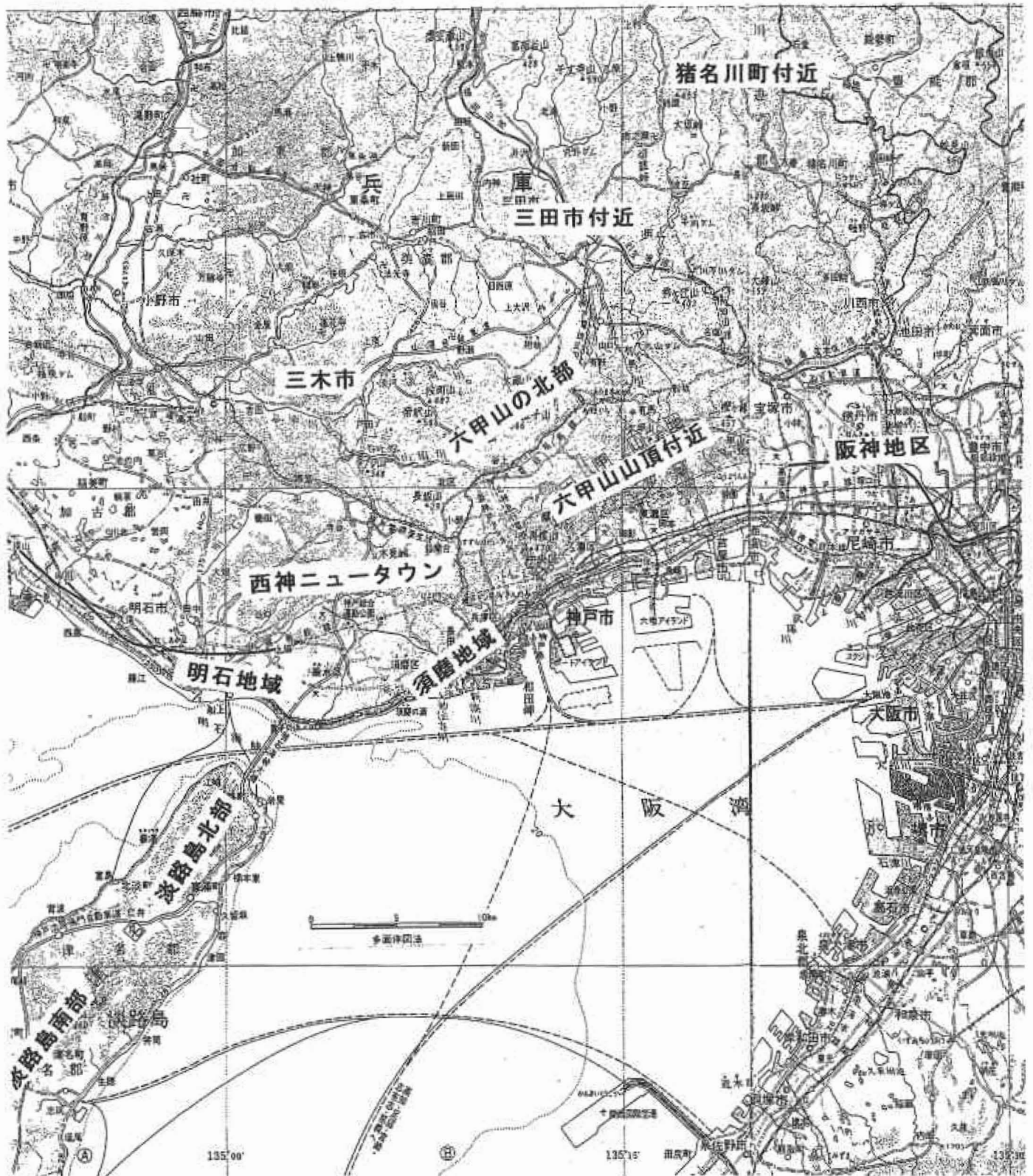


図2 兵庫県南部地震・発光現象の聞き込み調査の主な地域

兵庫県南部地震にともなう発光

発光の形態

① 稲妻



② 山形



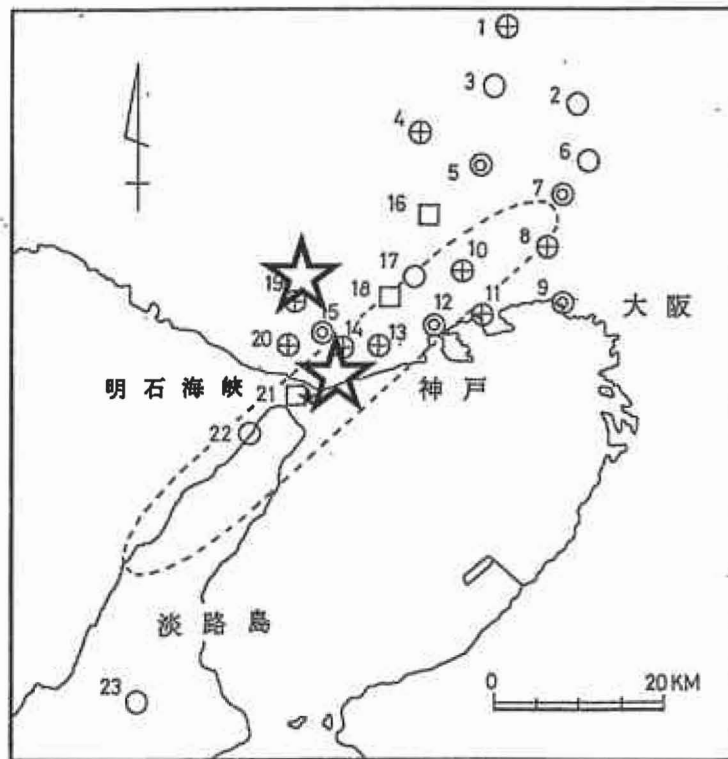
③ 扇形



④ 帯状



発光源分布



★：兵庫県南部地震の本震の震源（震央）、☆：地震前の持続的な発光現場
地震時の発光現場 二重丸：青色、十字丸：赤色 白丸：フラッシュ 四角：稲妻

図3 1995年兵庫県南部地震に伴った発光現象。
上図は発光のタイプ。下図は発生場所の分布。
記号の違いは発光の色。地震前の持続的な発光現場はスター印

発光した時間は地震の前か、大きな地面のゆれとともに、あるいはそのあとか、発光の継続時間はどうか。

最低、確認しなければならない項目は、(1) 観察した位置、(2) 光の見えた方角、(3) 光源が認識できたならその形や広がり (仰角や方位角の範囲)、(4) 光の色、(5) 発現時刻および継続時間、である。

実際は、大きな地震のため冷静な目で観察ができなかったとみえて、なかなかはっきりしない場合が多い。

発光源を突き止めるには、同一の光源に対して、それをいろいろな方向で取り囲む多くの目撃者が欲しい。

また、発光源の分布を調べるには、発光が見られなかった地域もおさえなくてはならない。地震のとき戸外に居て、もし、発光が起こっていたら、当然見えたはずなのに、見ていないという証言も重要である。光源が遠方の場合、互いに近いところに居ても、方向によっては光を確認できたり、できなかつたりする。

光源の強さ

光によってどれだけ明るくなったかについての証言には、光源近くでの「昼間のような明るさ」、上空や遠景が「ボーと明るかった」、遠方からの「輝きの程度が満月の明るさだった」などがある。

明るさ (照度) は、ある面を単位時間当り通過する光の量、光束 (単位はルーメン: lm) を考え、照射面の単位面積を通過する光束 (単位は lm/m^2) で定義する。光源の強さは、点光源の場合、ある方向の単位立体角内に放出される光束の大きさを光度 (単位はカンデラ: cd, $\text{cd}=\text{lm}/\text{sr}$) と定義する。ひろがりをもつ光源では、単位面積当りの光度、すなわち輝度 (単位は cd/m^2) を用いるのが便利である。

比較のため、野球場のナイター施設で使われる高圧放電ランプや高圧ナトリウムランプを用いた投光器を例にとる。神戸の球場グリーンスタジアム神戸では、6基の灯光器が球場を取り囲んでいるが、1基の灯光器は横 16.5m、縦 4.5m の枠のなかにランプが 90 灯セットされ、トップの高さが地上 35m の位置から地上を照らしている。ランプの光束は 10^5 lm 程度である。これは片面 (立体角 2π) へ放出されるから、1基の灯光器の光度は 90 灯合わせて 1.4×10^6 cd、光源全体の面積が 74.3m^2 であるので、輝度は 1.9×10^4 cd/m^2 となる。ちなみに電力はランプ 1 灯あたり、1 ~ 1.5kW である。1 基当り 1 秒間の放出エネルギーは地震に換算すると M0 ~ 1 程度である。

昼間のような明るさを生じるような光は上の灯光器と同程度の光度あったと推定される。ある証言者は、光は強烈であったが、球場の灯光器よりやや弱い程度であったという。

西宮市の甲山付近のオレンジ色の光の場合、7km 離れた地点で満月の光 (0.2 lx) よりやや明るい程度であったから、光度は 9.8×10^6 cd より少し大きく、光源の有

効な面積を $100\text{m} \times 100\text{m}$ とすると輝度は 10^3 cd/m^2 よりやや大きい程度であろう。これは蛍光灯の光 (10^4 cd/m^2 のオーダー) よりやや暗い程度の光源である。

強い光源でも、輝度からみれば蛍光灯と同程度であるから、少なくとも蛍光灯で発生しているような放電の条件と発光体があれば発光が起きると考えられる。

地面に強い電流

発光現象の1つの原因として空中放電が考えられる。その源になる地面での電荷の集積を思わせる事件があった。聞き込み調査によって、尼崎市久々知にて強烈な光が目撃されていることがわかっているが、さらに何かの情報を掴むべく、近くの関西電力神崎変電所への聞き込みをおこなった。15kVの支線3本のうち、アースに結ばれた1本の線に過剰電流が流れ開閉器が地震時に作動、そして停電したということである。何らかの理由で電荷が地下から地面に運ばれ放電したと考えられる。

地震前の発光

地震前の発光については、聞き込みやアンケート調査の結果、

- 1) 兵庫県三木市における地震前の持続的な発光
- 2) 兵庫県三木市における地震直前の発光
- 3) 神戸市西方の夕焼けのような雲の出現
- 4) 神戸市須磨区における地震直前の発光
- 5) 須磨区大手町7～8丁目の様子

の地点が浮かび上がっている（資料：兵庫県南部地震の聞き込み調査証言例 参照）。上の9)、4)、5) はダブっている可能性がある。

温泉の異常

地下水は、まず、神戸市北区の有馬温泉と西宮市の武田尾温泉を調査した。

有馬温泉についての地震前後の変化は不明である。一方、西宮市北部の武田尾温泉では、白濁や水温上昇などの異常が認められた。

有馬温泉の妬（うわなり）泉源や有明泉源2号泉、武田尾温泉丸木旅館の泉源では、地震後、水温観測を現在まで継続して測定している。

有馬温泉の妬（うわなり）泉源や有明泉源2号泉、武田尾温泉丸木旅館の泉源では、地震後、水温を現在まで継続して連続観測している。

井戸水の異変

調査の宿舎にした兵庫県猪名川町柏原 における井戸が、地震直後、白濁して溢れ出し4℃上昇した。

京都府亀岡市馬路町では、酒屋の井戸が白濁した。

猪名川町柏原の井戸および亀岡市馬路の井戸では水温観測、猪名川町原では水位と水温の観測を行っている。猪名川町柏原の井戸の水温観測は、2001年から水晶温度計を用い10,000分の1の分解能の高精度観測に切り替えた。2002年から水温上昇が観測されている。上昇率は変動しつつ現在も上昇。現在進行中の近畿の地殻変動変化を示している。

海面の異変（明石海峡での地下水噴出）

淡路島北淡町（現 淡路市）富島港での聞き取りによって、「海水の変色」現象が明らかになった。当時、明石と富島を結ぶ旅客船の定期航路があった。

地震の2日前の1月15日、10:25明石発、淡路島の富島行き旅客船が明石海峡航路中央第1号灯浮標（ブイ）付近を航行中、そのブイを含む直径30～50mの範囲の海面が黒褐色に渦巻いていたのを船長らが目撃した。直径30m以上というのは、船の長さが30mあり、その船がすっぽり入る変色域であったからである。他の船長の証言によると、その日の夕方まで濁りは存在した。翌日の午前中は確認されていないが、15時明石発富島行の船長は、より広範囲（幅100mぐらい）の同じ様な変色域を目撃している。定期航路において、このような現象が目撃されたのは、地震の前も後もこのときだけであった。

この変色は、航跡で元の海の色に戻る赤潮のような海水表層の現象ではなく、色から判断すると海底のヘドロが巻き上げられたものである。深さ50～100mの海底において擾乱が発生したらしい。その原因として考えられるのは、高圧地下水の噴出である。

この現象の調査は、数年間を要した。淡路島は数回訪れ、明石・富島航路の船長や機関長などに会い、5人の証言を集めたことによる。その間、大阪湾航路監視のセンターを訪問したり、そのほかの証言を求めつつ、現象発生理由を考えていった。その成果は論文に記載した（Tsukuda et al., 2005）。

§ 4. 1995年新潟県北部の地震（M5.6）の聞き込み調査

1995年4月1日12時49分新潟県北部でM5.6の地震があった。この地震の当初の根拠地は新潟県笹神村（現・阿賀野市）出湯の旅館夕月である。そこで、旅館中喜屋の井戸の話や旅館夕月での発光現象の話聞いた。

地下水

新潟県笹神村（現・阿賀野市）出湯温泉、中喜屋旅館の井戸（深さ 30m）で地震直前に水位上昇があった（東京大学地震研究所, 1995; 川上, 1995）。

温泉開発の影響監視の目的で、1995年3月22日から水位観測を開始。測定者は さんで、毎日1回14時ごろ測定。地表から250cmぐらいの水位が前々日には224cm、前日には180cm、地震直後は160cm、その後最高100cmまで上昇。

新潟県豊浦町（現・新発田市）の月岡温泉（2源泉の総和）では、地震後濁りはなかったが、湧出量が30%増加した。温度も49℃から51℃に上昇。

旧豊浦町與野では、自噴している井戸の水量が3月から増加。

出湯温泉の中喜屋旅館では水位と水温、川上2号泉では水温連続観測を行っている。また、川上2号泉では、 氏による電気伝導度の測定がだいたい1週間間隔で行われている。このデータには2004年新潟県中越地震や2007年新潟県中越沖地震に先行する伝導度上昇変化が記録された（佃, 2008）。

発光現象

旧笹神村出湯の旅館夕月に勤める さんの証言。地震発生は12時分であるが、まず、部屋のテレビに横縞が走った。つぎに旅館の中庭を雲ガラス越しに見やると、オレンジ色の光がパッパッと見え、ドーンと地震のゆれが来た。

§ 5. 2000年鳥取県西部地震（M7.3）

2000年10月6日13時30分鳥取県西部でM6.8の地震があった。この鳥取県西部地震の直後、日野町根雨の宿を拠点にして、聞き込み調査を行った。その間、読売新聞鳥取支局の記者から連絡を受けた。この記者は、1995年兵庫県南部地震の調査の際に互いに情報交換した間柄であった。日南町の奥日野温泉において地震直前に異変があったとのことであった。

鳥取県日南町花口小倉原山の奥日野温泉は、鳥取県西部地震の本震震央からほぼ南に12.8km、余震域（本震の震源域）の南東端付近からおよそ8-9kmの地点に位置する。1997年に鳥取黒雲母花崗岩体を掘削した単純弱放能泉（低張生アルカリ性温泉）で、泉源井戸の深さは1500m、最も浅いストレートの位置は深度829-830mである。湧水地点の深度は、725m, 890m, 930m, 1050-1075mである。水中ポンプが稼働していないときの水位は、掘削当時の測定によると深さ60mであった。1997年5月29日の揚水試験では、水中ポンプを深さ465mに設置し、40.1

℃の湯を 155.4l/min の流速で汲み上げた。ポンプの稼働によって水位は下がるが、その動水位は深さ 125m であった。温泉は 1998 年 10 月にオープンし、営業運転の水中ポンプは深さ 425m に設置されている。

鳥取県西部地震の 1 日前の 2000 年 10 月 5 日 13 時 30 分頃、温泉の事務所にあるコントロールパネルの濾過器異常ランプ（赤）が点滅した。浴槽の水位も低下し、40m³ 容量の源泉貯水タンクを調べると空っぽに近い状態であった。通常はタンク頂上から 75cm まで水量が下がると水中ポンプが稼働して揚水する。露天風呂への給湯を止めるなどの対策をとった。設備業者に電話連絡し、その指示で汲み上げ用水中ポンプの電源、電流計の指針の目視により、ポンプのモーターは稼働状態にあったことが確認された。ポンプの電源を一旦切り、数時間後再び稼働させた。夕刻、徐々に湯の汲み上げが戻り、浴槽の状態が通常に戻ったのが 18:45 頃であった。その後は平常の温泉営業（21 時まで）を続けることができた。

異常ランプ動作の補足説明をする。濾過器は、浴槽の湯を浄化するための循環用に用いられている。源泉の湯を節約するための装置である。浴槽の湯が少しずつは消費されるが浴槽の水位が下がると源泉からの湯を自動的に供給する仕掛けになっている。浴槽の水位が下がり放しになると、濾過器異常が点滅する。源泉貯水タンクから湯の供給が止まったことを示している。結局、水中ポンプの揚水が停止していたのである。

水中ポンプの揚水不能の原因として 1) モータ故障、2) ストレーナの目づまり、3) ポンプの羽根に異物かみ込み、4) 揚水管破損、5) エアーロック、6) 水位低下、などが考えられる。簡単に元に復帰したことから、1)、2)、3)、4)、5) については非常に考えにくい。長年このような事業に携わってこられた 氏の話の参考にすると、現時点で考えられるのは水位低下のみである。この温泉でも、創業以来、このとき以外にこのような事態に至ったことはなく、また震災による激震後、砂混じりの揚水を強いられたにもかかわらずポンプの動作に異常は認められなかったことも事実である。

地震後の現象については以下のものであった。地震の翌日の 10 月 7 日 07 時頃、ポンプ室において水中ポンプの揚水管（外径 10.8cm）と井戸の管（内径 22.66cm）の隙間から温泉水がじわじわと床に溢れているのが温泉支配人の 氏によって発見された。自噴現象である。水は黒く濁っており、コールタールのようであった。黒濁は一時的なもので、つぎの日には収まったが、自噴は 2 日ほど続いた。筆者は 10 月 9 日に現地を訪れている。自噴は収まった状態であった。温泉水はほぼ透明で、床に黒いシミが残っているのを見ることができた。10 月 10 日 08 頃にも再び黒濁したことが確認されている。ポンプで揚水された温泉水には細かい白砂が混じり、湯の色もうすく黄色ないし赤色に変色した。この現象も数日のうちに解消した。

奥日野温泉の温泉水の貯蔵タンクに水温計を設置し観測を行ったが、2001 年 12 月 25 日、温泉の営業停止のため、観測も中止した。データは 2000 年 11 月 11 日

から 2000 年 3 月 28 日まで。

現在は、鳥取県西部地震の震源断層南東端に近い岡山県新見の千屋温泉と、地震後水温が下降する変化があった島根県雲南市海潮温泉（3 号線）において水温連続観測を継続している。島根県の場合は、鳥取の地震の次が、出雲地域ではないかと考えられるから、今後へ向けての観測でもある。

§ 6. 2001 年芸予地震 (M6.7)

2001 年 3 月 24 日 15 時 27 分広島県で M6.7 の芸予地震があった。この地震発生から約 1 週間後、広島市にある東大地震研究所広島地震観測所に連絡が入った。山口県岩国市の民家の井戸水がお湯になったとのこと。この連絡は以下の事情によって実現した。この異変が現地で話題になったとき、ある新聞記事を井戸の持ち主の 氏に紹介した人がいた。地震後にマスコミ取材を受けた観測所では、地震に関係したどんな情報でもお知らせ下さいというメッセージを記者に託したが、そのことが新聞に載ったのである。一般の人は普段、広島に地震の研究所があることは知らないが、この記事をきっかけして以下のような情報が地震研究所に届いたのである。

山口県岩国市岩国の民家（ 氏）の井戸は約 40 年前より現在にいたるまで、家庭の一切の水を供給している。 氏によると芸予地震の前日の朝、蛇口をひねると 49℃のお湯が出た。地震当日の朝も 48℃であり、この日は水が牛乳を薄めたように白濁した。また、芸予地震の 2 週間ほど前、3 日続けて蛇口からガスを吹き出すこと（エアを嘔む）もあった。

場所は、錦川の錦帯橋に近く、岩国断層（南西-北東走向、活動度 B 級、長さ 10km、右ずれ南落ち）の北東端付近に位置する。付近には小方-小瀬断層などいくつかの小断層が集中している。

この現象の要点は、蛇口をひねるとお湯が出るが、しばらくするとふつうの温度の水になり。このようなことが、頻繁に発生するということである。顕著な白濁現象が確認されたのは、芸予地震当日の朝のみである。2001 年 6 月 27 日昼頃にも、エアをかんで短時間（5 分間ぐらい）の白濁があったが、芸予地震当日より色は薄く、そのとき筆者も現場に居合わせて確認している。それ以外には目撃されていないとのことである。

この現象に 氏が最初に気付いたのは、2000 年 10 月 6 日、鳥取県西部地震が発生した日、その地震後の夕方 17 時頃であった。水温は手の感触では 30～40℃のようであった。10 月 16 日の前後のある日には手がやけどしそわそわの温度であった（おそらく 50℃以上）。高温水が出る日は少なくなっていたが（3 日か 4 日に 1 回ぐらい）、翌年の 3 月に入ると、毎日のように温水（40℃前後と推定される）となった。2001 年 3 月 23 日から水銀柱温度計並びにアルコール温度計を蛇口に取り付け、毎日のように測定するようになった。

筆者が最初に現地を訪れたのは、2001年4月22日である。4月23日から井戸の底（深さ5m）に水温センサーを設置し、連続観測を開始した。6月27日からは、汲み上げポンプのパイプの上方と中程にそれぞれ水温センサーを設置し、3ヶ所の水温連続観測を開始し現在に至っている。

使用している井戸の水が一時枯れそうな状況だったので、氏は約1.5m離れた地点に新たな井戸を掘った。現在、その井戸でも水温観測を行っている。

§ 7. 2004年新潟県中越地震 (M6.8)

2004年10月23日17時56分新潟県中越地方でM6.8の地震があった。地震から3日目の10月25日に現地に入ったが、震源域が山間部でそこに立ち入ることが困難だったことと、トルコに海外出張の予定があって、調査日数が制限されたため、丁寧な調査ができなかった。この調査でとくに前兆現象の情報入手はなかった。しかし、1995年新潟県北部の地震以来、温泉観測を実施している阿賀野市出湯温泉の観測データに前兆的な変化が見いだされた。川上2号泉の電気伝導度である(佃、2008)。

地下水

小千谷市池津の自噴している井戸水では、地震後湧出量が増加した。

発光現象

長岡市の道路を北上して運転中のドライバーが地震時、前方に稲妻を見たという証言を得た。ある新聞記者の取材によると、六日町でも稲妻の発光現象が目撃されたそうである。

§ 8. 2005年福岡県西部沖地震 (M7.0)

2005年3月20日10時53分福岡市志賀島沖玄海島付近でM7.0の地震があった。地震後数日して、福岡県宗像市の宗像保険健康センターからe-mailがあり、市内の井戸数カ所で、地震後濁ったという連絡があり、その原因について問い合わせがあった。そこで、調査に出かけた。

地下水

志賀島の国民休暇村の井戸の汲み上げ量が地震の約1ヶ月前から低下した。施

設課長の 氏によると、2005年1月1日から1月31日まで平均61.8リットル/日、1月31日から2月1日まで平均71リットル/日、2月1日から2月28日まで平均56.5リットル/日、2月28日から3月20日まで平均50.3リットル/日であった。

国民休暇村の池の水の水位も地震前から20cmぐらい低下していた。現在、年3回の割で池の写真を撮影して水位のその後の変化を見守っている。

井戸の白濁がヶ所。硫化水素の臭いも。

福津市の旅館の井戸。2003年10月ごろ水温が24℃に上昇した。これが宗像保健所に連絡あり。保健所では、様子を見るよう指導。2004年3月20日の地震後は水温は元通りになった。保健所で、いろいろな話をしているうち、保健所の職員が昨年秋のできごとを思いだした。

その原因を追及すべく、現在、水温の連続観測を実施している。

参考文献

浜田政則・若松加寿江・田蔵 隆・吉田 望, 1990年フィリピン地震による液状化と被害、土と基礎, 33-2 (397), 51-56, 1991.

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・酒井 要・橋本信一・M. R. Gheitanchi・鈴木 均・S. Soltanian・P. Mozaffari, 1990年イラン北西部ルードバール地震の被害や地変の観察と聞き取り調査, 地震研究所彙報, 66, 419-454, 1991.

Tsukuda, T., K. Sakai, S. Hashimoto, M. R. Gheitanchi, S. Soltanian, P. Mozaffari, N. Mozaffari, B. Akasheh and A. Javaherian, Aftershock distribution of the 1990 Rudbar, northwest Iran, earthquake of M7.3 and its tectonic implications, Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo, 66, 351-381, 1991.

佃 為成, 1995年兵庫県南部地震に伴った発光現象, 月刊地球, 号外13, 184-189, 1995.

佃 為成, 発光現象 - 宏観異常現象の検証, 地震ジャーナル, 20, 24-32, 1995.

佃 為成, 地震予知, 空位調和・衛生工学, 70, 4, 35-40, 1996.

Tsukuda, T., Sizes and some features of luminous sources associated with the 1995 Hyogo-ken Nanbu earthquake, J. Phys. Earth, 45, 73-82, 1997.

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.

佃 為成, 大気発光, 電気学会技術報告, 992, 63-66, 2004.

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, 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.