



## 地震活動と温泉の温度変化の関係

西 田 良 平<sup>1)</sup>

(平成 26 年 12 月 5 日受付, 平成 27 年 1 月 5 日受理)

### Relation between Seismic Activity and Hot Spring Water Changes

Ryouhei NISHIDA<sup>1)</sup>

#### Abstract

Quaternary volcanoes and gushing hot springs are scattered along the Japan Sea coast of San'in region. Many micro-earthquakes have been occurred in the same area of large earthquakes. The observation network of hot springs for the prediction of earthquakes in San'in region have continued since 2003. Coseismic hot spring water changes are observed in the 2004 Sumatra earthquake. And Coseismic hot spring water changes are observed in the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake. Long term temperature is observed in the Iwai hot spring, and observed many coseismic changes.

Key words : Seismic activity, The observation network of hot springs in San'in region, Coseismic change of hot spring waters

#### 要 旨

2000 年鳥取県西部地震後, 2003 年から山陰地方で「温泉観測ネットワーク」として 15 点の温度観測と 5 点の水位観測を開始した。そして 2014 年 3 月現在, 6 点の温度観測と 3 点の水位観測を継続している。2004 年スマトラ沖巨大地震や 2008 年中国四川地震などで温泉水の温度変化が観測された。2011 年の東北地方太平洋沖地震の時は顕著な温度上昇があり, 1 年間以上変化が継続した。岩井温泉では長期間変動があり, 約 10 年で約 1℃温度が上昇した。温泉の変化と地震活動の関係を研究することで地震予知研究を進めたい。

キーワード : 地震活動, 温泉観測ネットワーク, 地震後の温泉変化

<sup>1)</sup>鳥取大学名誉教授 〒680-0947 鳥取県鳥取市湖山町西 1 丁目 670. <sup>1)</sup>Emeritus Professor, Tottori University, 670, Nishi 1-chome, Koyama-chou, Tottori 680-0947, Japan.

## ま え が き

地震の前後に温泉水が変化した事象は多くの人々による証言などで報告され、温泉観測などでも記録されている。しかし、その変化の詳細を解明するためには常時の詳細な観測と1つの温泉だけでなく複数の温泉での変化を観測することが必要である。山陰地方は大山、三瓶山などの第四紀火山が日本海沿岸に沿って点在し、温泉も多く湧出している地域である。また1872年浜田地震(M7.1)、1925年北但馬地震(M6.8)、1927年北丹後地震(M7.3)、1943年鳥取地震(M7.2)、そして、2000年鳥取県西部地震(M7.3)が日本海の海岸に沿って発生している(図1)。2003年からこの地域で鳥取大学工学部・京都大学防災研究所・産業技術総合研究所活断層・地震研究センターが、地震活動との関連を明らかにするための観測ネットワークの観測を実施している。

## 山陰地方の地震

19世紀後半から20世紀に、1872年浜田地震(M7.1)、1925年北但馬地震(M6.8)、1927年北丹後地震(M7.3)、1943年鳥取地震(M7.2)、そして、2000年鳥取県西部地震(M7.3)など日本海の海岸に沿って被害地震が発生した(図1)。微小地震の分布も大地震の分布と同様に日本海沿岸に沿って線状配列をしている。しかし、詳細に見ると、その活動は1つの連続した活動域ではなく、活動域と空白域が交互に見られ、線状配列も一律ではない。主な活動域は鳥取地震が発生した鳥取県東部中部、鳥取一鳥根県境付近、三瓶山・広島県北部付近、鳥根県中部西部である。空白域としては兵庫県北部、大山付近と鳥根県東部地域がある。鳥取県西部地震は、鳥根県東部地域の空白域と大山付近の空白域に挟まれた地域で発生している(図2)。

地表面の活断層に沿った地震活動は、地下断層系の応力場に起因するとして、山崎断層周辺地域など多くの研究がなされ、地震から求められた地殻応力場と活断層の関連が明らかになって来ている。山陰地域の応力場は山崎断層系などの近畿地方の断層系とは少し異なり、鳥取地震の主応力方

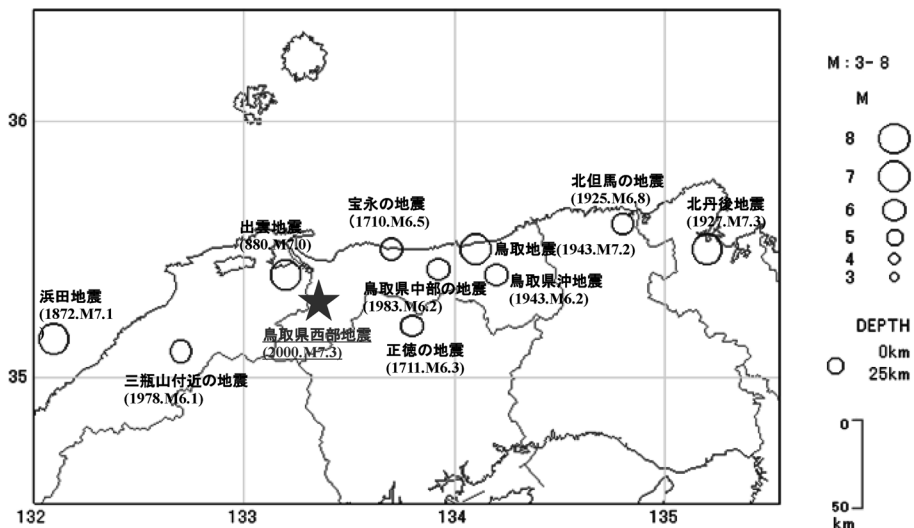


図1 山陰地域の被害地震分布：M6以上の地震を示す。880年出雲地震、1872年浜田地震、1927年北丹後地震、1943年鳥取地震、そして2000年鳥取県西部地震が内陸大地震である。

1999 1/1 0:0 -- 2002 9/21 23:59

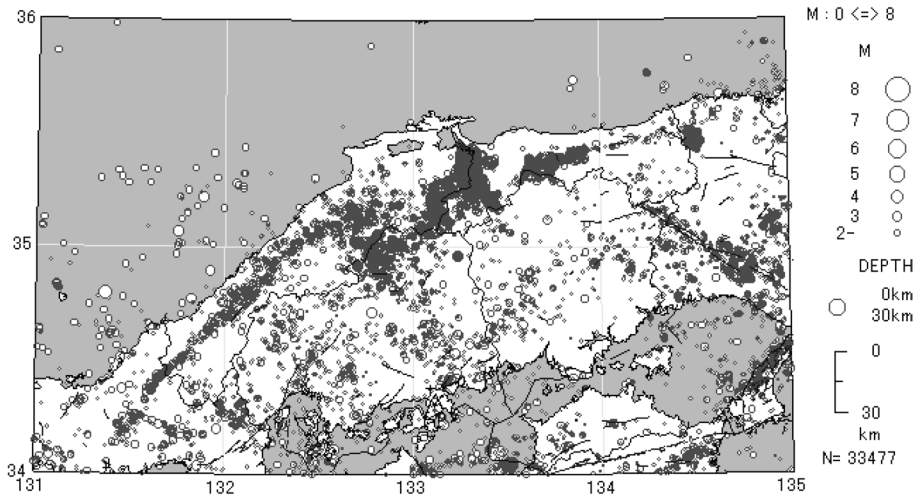


図 2 中国地方・近畿北西部の微小地震分布，山陰海岸に沿って微小地震の発生域が存在している。(SEIC-PC より作成)

向に代表されるように東西方向から時計回りに少し回転した応力場を示している。中国地方で一番高い大山周辺は地震空白地域であるのに、同じ第四紀の火山である三瓶山周辺は微小地震の活動域である。大山の山体内には温泉はなく外れて米子市の皆生温泉そして東側の関金温泉、三朝温泉がある。それに対して、三瓶山には山頂付近に三瓶温泉（志学温泉）があり、周辺部にも池田温泉、千原温泉、出雲湯村温泉、湯抱温泉等がある。この地下状態が地震活動と関連があるとも考えられる（Nishida (1990), 竹内他 (1988), 西田他 (1991), 西田 (2014)）。

### 温泉観測ネットワーク

2000年鳥取県西部地震後、鳥取大学工学部・京都大学防災研究所・産業技術総合研究所活断層・地震研究センターが2003年から山陰地方で「温泉観測ネットワーク」として最大15点の温度観測と5点の水位観測を開始した（図3）。しかし、観測井の外部ノイズが多く、2014年3月現在、6点の温度観測と3点の水位観測を継続している。観測データは水温・水位共に1秒間隔で測定した1分間の平均値を観測点の分データとする。水温の分解能は0.01℃、水位の分解能は2mmである。なお鳥取温泉、岩井温泉、日野町、鷺の湯温泉ではGPS時計を用いて、0.01秒以内の精度で常時時刻補正を行い、正確な絶対時間で測定している。観測システムの概略は、各観測地で観測井ボーリング孔中あるいは貯留タンクに観測センサーを設置し、データ収録を行い、蓄積システムがある。鳥取大学の観測センターに各観測点から電話回線を介して収集し、鳥取大学で記録・解析を行っている（西田他 (2002), 渡辺他 (2003), 野口他 (2004), 西田 (2005)）。

### 観測された温泉の温度・水位変化

水位変動は地下の温泉水の圧力変化に反応し、温度変化は地下深部からの熱水の流入量の増加に対応していると考えられ、温泉によって変化の様子が異なっている。地震に伴う温泉の変化は、地



図 3 温泉観測ネットワークの温泉観測点分布 ①鳥取温泉, ②岩井温泉, ③鹿野温泉, ④三朝温泉, ⑤奥津温泉, ⑥湯原温泉, ⑦日野町, ⑧南部町, ⑨鷺の湯温泉, ⑩三瓶温泉, ⑪南部町, ⑫出雲湯村温泉, ⑬湯谷温泉, ⑭吉岡温泉, ⑮南部町

### スマトラ沖巨大地震 温度変化

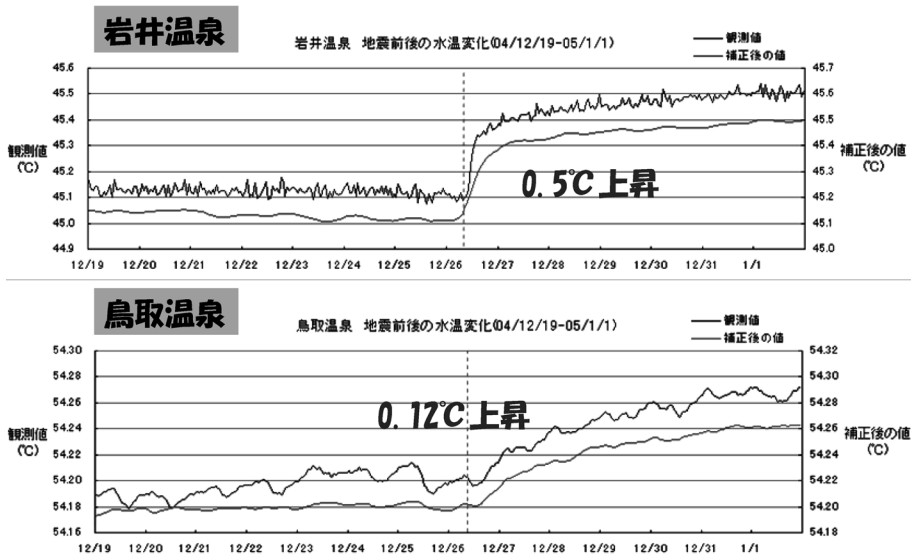


図 4 2004年スマトラ沖地震による温度変化, 上から岩井温泉, 鳥取温泉を示す. それぞれのグラフの下線は短期変動を補正した変化を示す.

下深部の状況に由来すると考えられるので, 短期的変動と長期的変動について議論する. 地震前に前兆現象と見られる温泉水の変化は定かでなく, 地震後の変化がほとんどである (西田他 (2005)).

#### ○2004年12月26日10時頃(日本時間)のスマトラ沖地震(M9.0)の変化

12月26日のスマトラ沖地震は, 震源が約5000kmも離れているのに各温泉で大きな温度変化を記録した. 岩井温泉と鳥取温泉では地震発生後地震波が到達した後に, 0.5℃と0.12℃の上昇を記録した. 鷺の湯温泉は1.2度も急激に低下したが, この変化は観測抗の状況変化と解釈した. 水位観測では地球を回ってくる表面波に反応して, 100km離れた鳥取温泉(岩井温泉)と鷺の湯温泉

で同じ時間変化が記録されている。温度変化は、奥津温泉、鷺の湯温泉、岩井温泉では地震波の到来と同時に変化し始めているが、鳥取温泉は遅れて約 2 時間後から温度が上昇している (図 4)。

○2011 年 3 月 11 日 14 時 30 分頃 (日本時間) の東日本大震災 (M9.0) の変化

「東北地方太平洋沖地震 (M9.0)」が発生し、東北地方の太平洋沿岸域は甚大な津波被害を受けた。地震波が山陰地域に到達した後、鷺の湯温泉は地震直後に温度が低下し、その後上昇した。吉岡温泉は温度が上昇し 2 時間後に最高値に達し、その後温度が低下して行っている。岩井温泉では水位

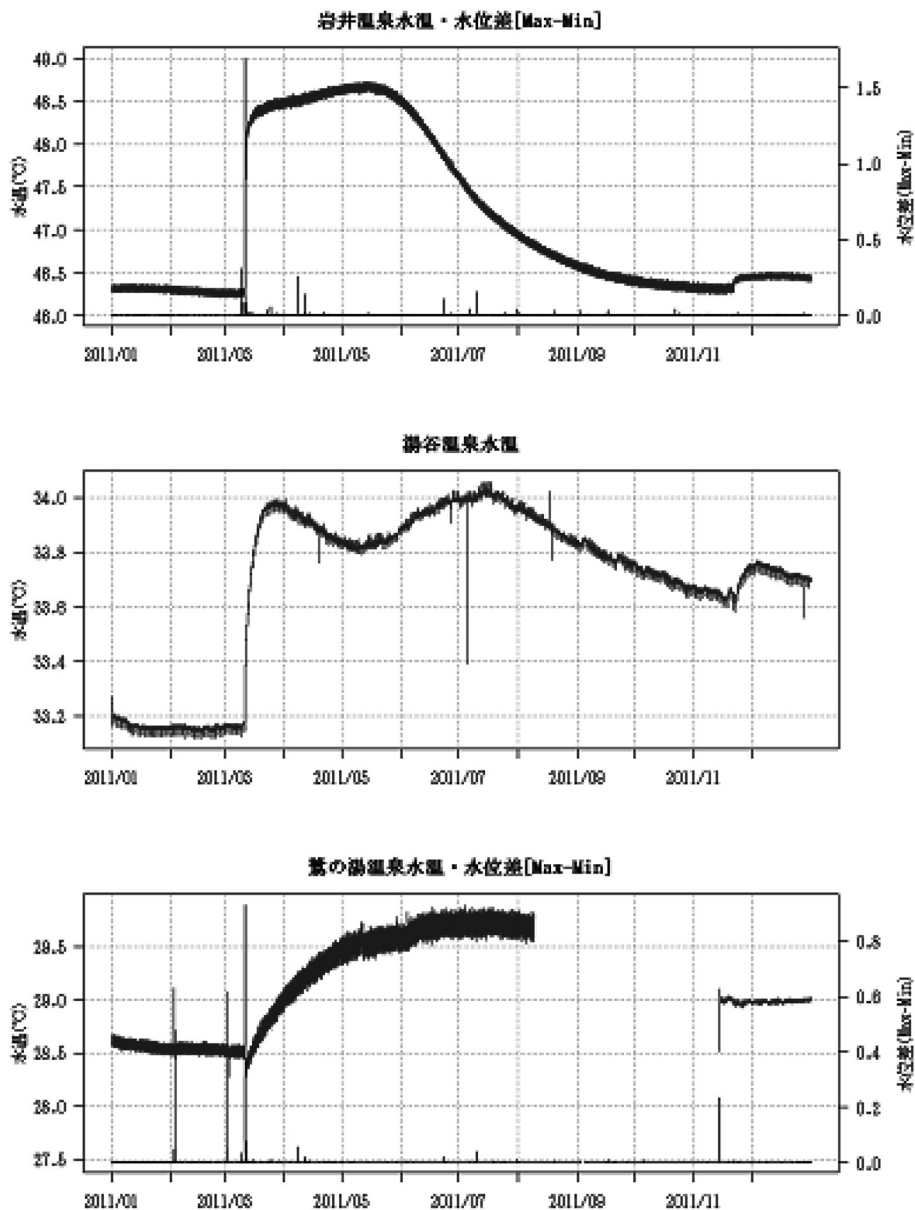


図 5 2011 年東日本大震災による温泉温度の変化：横軸は時間 (2011 年の 1 年間)、縦軸は温度を示す。上から岩井温泉、湯谷温泉、鷺の湯温泉を示す。(棒グラフは推移変化を示す)

変化が地震の表面波と連動した短周期変化が記録された。この超巨大地震後の温泉変化では、岩井温泉、湯谷温泉、奥津温泉は温度上昇を示し、岩井温泉と湯谷温泉などで約1年間継続した後ほぼ元に戻った(図5)。

### 岩井温泉の10年間の長期変動

長期間の温泉観測の中で、岩井温泉は欠測もほとんどなく良質の温度観測が維持されている。2003年の観測開始時は温泉温度が約45℃であったのが10年間で1℃以上上昇している。温度上昇は直線的であるが、2004年のスマトラ沖地震と2011年東日本大震災の時にギャップが来ている。

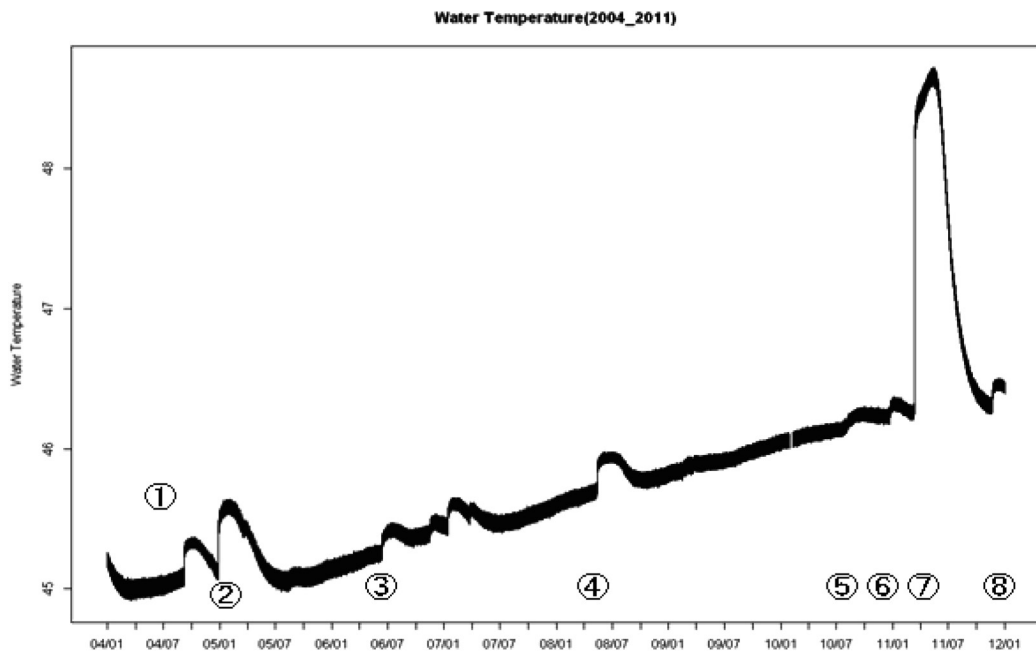


図6 岩井温泉の長期間の温度変化：2003年から2012年までの10年間、番号の地震は下表に示す。

表1 図7に示された地震 (Jan. 2004 から Dec. 2011 まで) (深さの単位は km)

	年月日	時分	緯度	経度	深さ	MAG	コメント
①	2004/9/5	23:57	33.20N	137.09E	10	7.4	2004年東海道沖地震
②	2004/12/26	09:58	3.30N	95.78E	10	9.0	2004年スマトラ沖地震
③	2006/11/15	20:14	46.62N	153.22E	28	8.3	2006年千島列島地震
④	2008/5/12	15:28	31.02N	103.37E	10	7.9	中国：2008年四川地震
⑤	2010/7/24	07:51	6.49N	123.53E	576	7.6	2010年フィリピン地震
⑥	2010/12/22	02:19	26.89N	143.73E	14	7.4	2010年小笠原北部の地震
⑦	2011/3/11	14:46	38.32N	142.37E	24	9.0	2011年東北地方太平洋沖地震
⑧	2011/10/22	02:57	29.00S	176.18W	33	7.4	2011年ケルマデク諸島の地震

そして、短期的には、岩井温泉は多くの地震に反応して温度が上昇し、一定期間後にはほぼ元の温度に戻っている (図 6) (西田 (2014))。

## ま と め

地震直後の温泉水変化を数多く観測することが出来ました。十数カ所の温泉で観測を実施したが、地震前後で変化する温泉としない温泉に分類することができた。変化が顕著な温泉は、岩井温泉、鳥取温泉、湯谷温泉、吉岡温泉、奥津温泉、鷺の湯温泉である。ほとんどが地震後の温泉水の温度変化で、上昇する事例が多く見られる。また、10年に渡る長期間の水温変化が観測され、岩井温泉の事例では多くの地震の度に変化していることが記録されている (図 6, 表 1)。ここでは、8つの地震の顕著な変化が見られる。特に、2011年東日本大震災の変化が大きいことが良く分かる。そして2004年スマトラ沖地震や2008年中国四川地震など遠方の地震でも変化していることが分かる。山陰地方の内陸地震では顕著な変化は観測されていないが、西日本のM6クラスの地震が発生すると温度変化が観測されている。

「温泉観測ネットワーク」の観測記録は、インターネットで公開している。定期的に行われる「地震予知連絡会」へ、2002年秋から「温泉観測ネットワーク」(鳥取大学、産業総合研究所)として、6カ月毎の観測記録と観測状況が報告されている(地震予知連絡会会報第71巻(2004年2月発行)から地震予知連絡会会報第91巻(2014年2月発行)まで、現在も継続中である)。

現在観測している温泉(番号は図3に示した)の観測概況を述べる。

- ①鳥取温泉： 温泉水汲み上げのノイズが大きい、地震による温度変化あり
- ②岩井温泉： 安定した温度変化を記録、地震による温度変化多数記録している、
- ④三朝温泉： 温度変化小さい、地震による温度変化なし
- ⑤奥津温泉： 温度変化に地殻潮汐が記録されている、地震による温度変化あり、
- ⑨鷺の湯温泉： 観測期間の途中で観測井の状況変化、地震による温度変化あり、
- ⑬湯谷温泉： 長期間の温度変化を記録、地震による温度変化多数記録あり、
- ⑭吉岡温泉： 温泉水汲み上げのノイズ大きい、地震による温度変化あり、

## 引用文献

竹内文朗, 佃 為成, 西田良平, 中尾節郎, 渋谷拓郎, 渡辺邦彦, 西上欽也, 尾池和夫 (1986) : 1985年大山火山付近に発生した群発地震について. 京都大学防災研究所年報, **29**, B-1, 39-47.

Nishida, R. (1990) : Characteristics of the 1983 Tottori Earthquake sequence and its relation to the tectonic stress field, *Tectonophysics*, **174**, 257-278.

西田良平, 岡田昭明, 渋谷拓郎 (1991) : 鳥取地方の地震と活断層, 鳥取県, 鳥取.

西田良平, 野口竜也, 渡辺邦彦, 矢部 征, 小田由香, 小泉尚嗣, 今西将文 (2002) : 山陰地方における温泉観測ネットワーク (その1). 2002年度地震学会秋季大会 (2002年10月).

西田良平 (2005) : 国際ロータリー第2690地区 Intercity Meeting (2004-2005年度) 資料集. 地域活動事例報告 地域に貢献する「温泉による地震予知研究」.

西田良平, 渡辺邦彦, 野口竜也, 小泉尚嗣, 矢部 征, 小田由香, 今西将文 (2005) : スマトラ沖地震による山陰地方の温泉水・地下水の変動, 2005年度地球惑星科学関連学会 (2005年5月).

西田良平 (2014) : 山陰地方の地震活動と温泉観測, *温泉科学*, **64**, 107-120.

野口竜也, 西田良平, 渡辺邦彦, 小泉尚嗣, 矢部 征, 小田由香, 今西将文 (2004) : 山陰地方に

における温泉観測ネットワーク（その2）. 2004年度地球惑星科学関連学会（2004年5月）, S043-P002, 2004. 5.

渡辺邦彦, 西田良平, 野口竜也, 矢部 征, 小田由香, 小泉尚嗣, 今西将文（2003）: 山陰地方の地下水調査（「温泉観測ネットワーク計画」について）. 平成14年度京都大学防災研究所研究発表講演会資料.