



解 説

山陰地方の地震活動と温泉観測

西 田 良 平^{1)*}

(平成 26 年 6 月 13 日受付, 平成 26 年 6 月 21 日受理)

Seismic Activity and Observation Network of Hot Springs in San-in Region

Ryouhei NISHIDA^{1)*}

Abstract

Quaternary volcanoes and gushing hot springs are scattered along the Japan Sea coast of San'in region. The distribution of large earthquakes in San'in region shows the same trend : There are the 1872 Hamada earthquake (M7.1), the 1925 Kita Tajima earthquake (M6.8), the 1927 Kita Tango earthquake (M7.3), the 1943 Tottori earthquake (M7.2) and the 2000 Tottori-ken seibu earthquake (M7.3). Many micro-earthquakes have been occurred in the same area of large earthquakes.

The characteristics of earthquake activity are shown as follow. Seismic activities migrate from east to west in this area. Focal mechanisms of large earthquake are strike-slip types, and tectonic stress shows an E-W pressure.

The observation network of hot springs for the prediction of earthquake 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, 2000 Tottori-ken Seibu earthquake, The observation net work of hot springs in San'in region, Coseismic change of hot spring waters

要 旨

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、また1872年浜

¹⁾鳥取大学名誉教授, 鳥取大学 〒680-8550 鳥取県鳥取市湖山町南4丁目101. ¹⁾Emeritus Professor, Tottori University, 4-101, Minami, Koyama-cho, Tottori, Tottori 680-8550, Japan. *Corresponding author : E-mail roy_nishida_5257@yahoo.co.jp

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) が同様に日本海の海岸に沿って発生している. この地域で温泉の詳細な観測を実施し, 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を構築し, 長期間の観測を実施している.

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, 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も顕著な温度上昇があり, 約 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°C 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への道を進めたい. 山陰地方で地震との関連などを解明する目的で, 地震の前兆現象が記録されれば, 地震予知研究への足がかりになることが期待される.

キーワード：地震活動, 2000 年鳥取県西部地震, 温泉観測ネットワーク, 地震後の温泉変化

1. 山陰地方の地震

山陰地方は西南日本内帯に位置し, 大山, 三瓶山, 神鍋山などの第四紀火山が日本海沿岸に沿って点在し, 多くの温泉がある地域である. 特に 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 (Fig. 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, 詳細にみると, 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, 鳥取一島根県境付近, 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

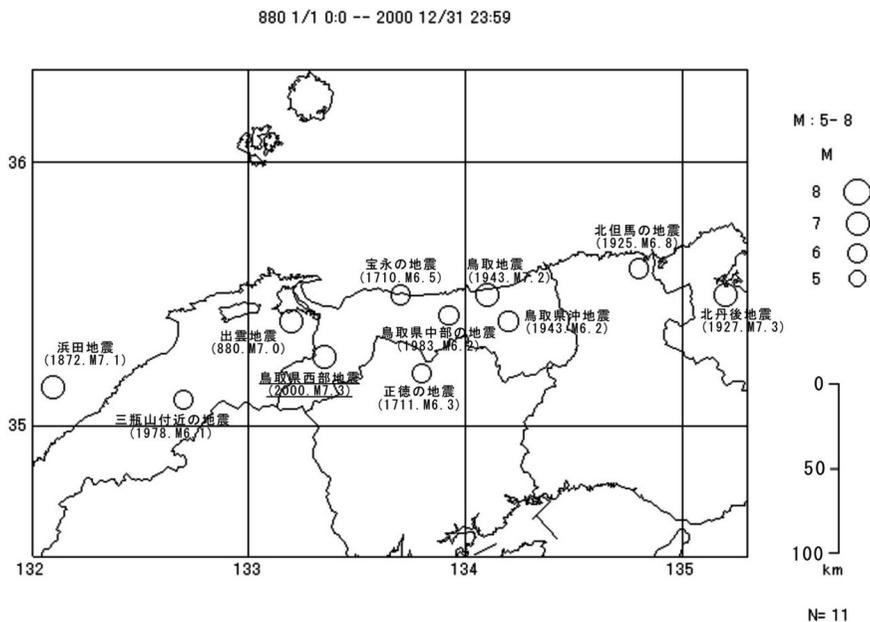


Fig. 1 Distribution of large earthquakes in San-in region. Vertical axis and horizontal axis shows latitude and longitude, respectively.

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

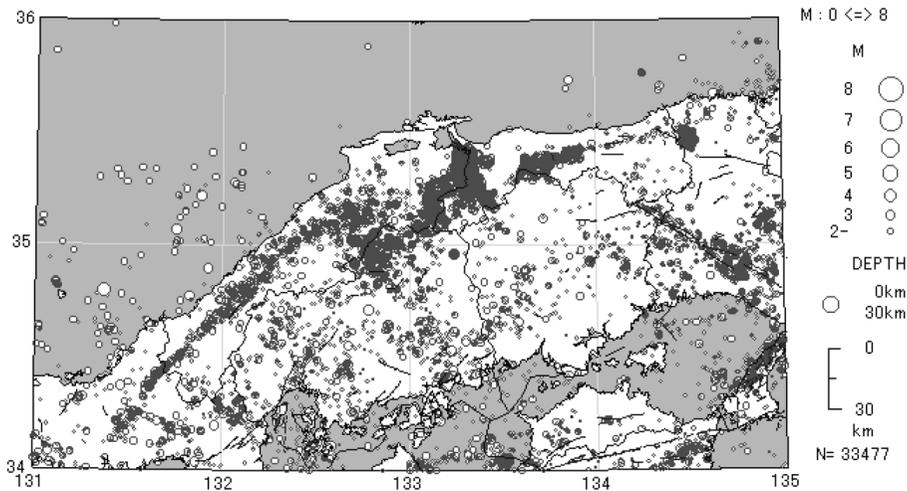


Fig. 2 Distribution of micro-earthquakes in Chugoku district. Vertical axis and horizontal axis shows latitude and longitude, respectively.

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 (Fig. 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 (Kishimoto and Nishida, 1973; 西田 1980)。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 (伊藤, 1990; Nishida, 1990a; Katao *et al.* 1997)。

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考えられる。

1943年鳥取地震は3月3日と4日にM6以上の地震活動があり、約半年後にM7.2の鳥取地震が発生している。鳥取地震の時は3月の活動は鳥取市から東側に余震が集中的に発生し、9月の時は主な余震は鳥取市から西側の地域、特に鳥取県中部に多く発生している。そして、鳥取地震から約40年後の1983年10月31日にM6.2の鳥取県中部の地震が発生している。これはこの地域の地下に蓄積される地震エネルギーが6クラスの地震を発生させる可能性を秘めていることを再認識させた (西田他 1991)。山陰地方に点在する温泉において、詳細な温泉モニタリングをすることによって、地震活動との関連を観測し、地震予知研究に寄与していることについて解説する。

2. 2000年鳥取県西部地震と前後の地震活動

1989年から日野町の地下で発生したM5クラスの群発地震群は、鳥取県西部地震に先行する活動である。2000年10月6日13時30分に発生した本震の震源は、西伯町の地下10kmのところ、

M7.3 という規模は日本海沿岸の地震では最大級である。地震の解析から、震源断層は北北西—南南東の走向で、長さ約 20 km, 幅約 10 km の左横ずれ断層である。地震を起こした地殻応力はほぼ東西方向の圧縮力である (Fig. 3, Fig. 4).

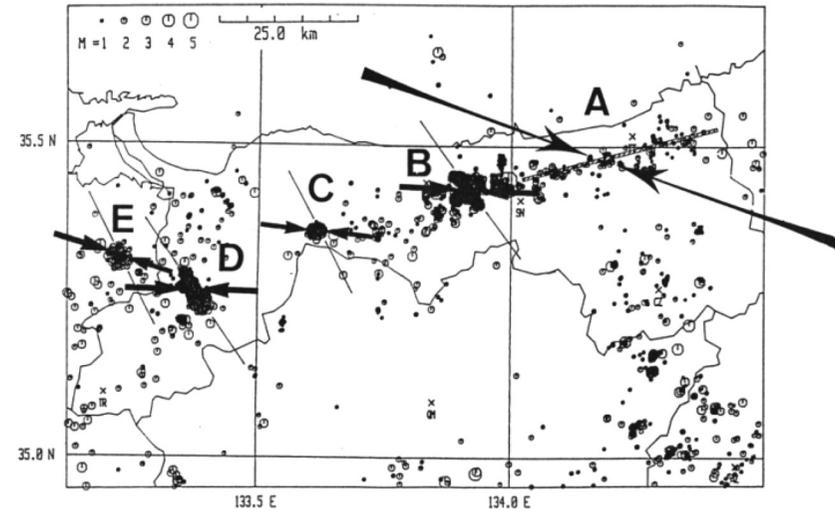


Fig. 3 Migration of seismic activities in Tottori area. Seismic swarms have been occurred about 60 years since the 1943 Tottori earthquake. Arrows show directions of pressure axis respectively. A, the 1943 Tottori earthquake; B, the 1983 Tottori cyubu earthquake; C, the 1985 earthquake occurred near Mt. Daisen; D, the 1989 1990 1997 earthquake swarm in Tottori-ken seibu area; E, the 1992 Simane-ken toubu earthquake.

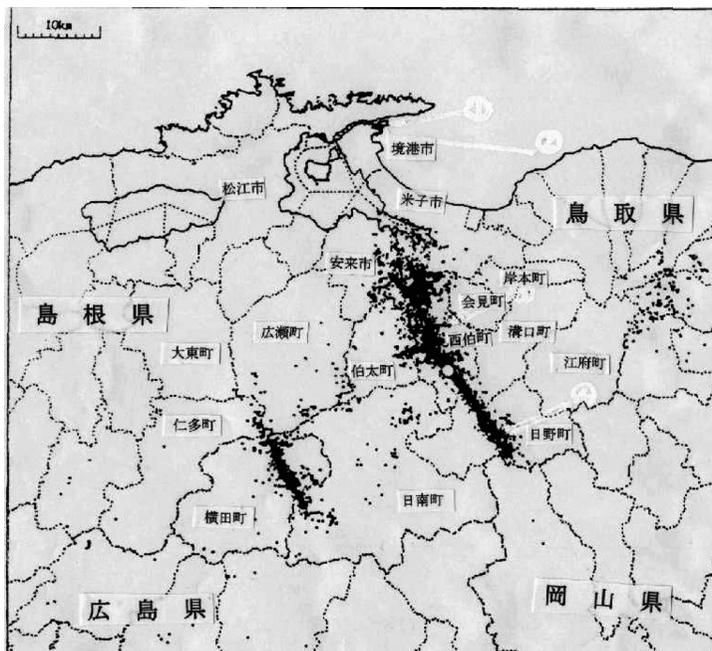


Fig. 4 Distribution of aftershocks in the 2000 Tottori-ken seibu earthquake.

余震活動は割り算型 (÷型) の分布で, 1983 年の鳥取県中部の地震 (M6.2) と同じである. 多くの余震は震源断層に沿った細長い帯状の地域に集中している (Fig. 4).

1970 年代では, 1973 年の鳥取県日南町の地震 (M5.1), 1977 年 (M5.3) と 1978 年 (M6.1) の三瓶山付近の地震がある. 三瓶山付近の地震では小地域ながら被害を出し, 周辺の温泉の増水・泉温の上昇などの異変が記録されて, 地震活動と温泉との関連が明瞭に観測された. その後この地域は活発な地震活動が現在も継続している.

1980 年代では, 鳥取県中部の地震 (1983, M6.2) (B) は, この地域では 1943 年の鳥取地震以来最大の地震で, 1983 年 10 月 31 日 01 時 51 分に, 三朝町と東郷町の町境, 波関峠の地下 10 km に発生した. 鳥取市で最大震度 4 を記録し, 倉吉市で鉄筋コンクリートの市役所が一部分破損する被害を受けている. その 3 分半後に東へ約 6 km 離れた青谷町で M5.7 の地震が発生している. これらの地震は, 1943 鳥取地震の余震域内のほぼ西端に位置している. 鳥取地震の地震断層 (余震分布) は ENE-WSW 走向で, 鳥取県中部の地震の本震の震源断層はそれに共役な断層系で左横ずれ断層型である (Nishida, 1990b ; Fig. 3).

大山火山付近は, 鳥取県東部から中部にかけての地震活動域の西端に位置し, 地震活動の空白域に隣接している. この地域は他の地域に比べると活動の低い地域であり, 1985 年の大山付近の地震以外には大きな地震活動は見られない (竹内ら, 1986). 鳥取県西部地域では 1989 年 10 月 27 日に M5.3, 11 月 2 日に M5.4 の地震を含む群発地震 (D1) が発生した. 鎌倉山南方活断層に直交する地下断層の活動である. さらに, この地震群の地下断層が北西へ延長する地域で, 1990 年 11 月 20 日に M5.1, 11 月 23 日に M5.2, 12 月 1 日に M5.1 の地震 (D2) が発生した. また, 1991 年 8 月 27 日には M4.7 が発生し, 約 10 時間後の 1991 年 8 月 28 日には, 西へ約 8 km 離れた鳥根県東部に M5.9 の地震 (E) が発生している. 1997 年には 9 月 4 日に M5.5 の地震 (D3) が発生し, 今までの活動した断層系全体で地震活動が活発化し, 2000 年鳥取県西部地震へと発展した. 1989 年からの主な地震 (M4 以上) の震央分布は北西—南東方向へ一直線に並んでおり, 2000 年鳥取県西部地震の地下断層と同じである. また, 地殻応力は, 地下の震源断層に約 45 度の方向を示し, この地域の地震活動の地殻応力はほぼ東西主圧力であり, 地下断層も左横ずれ断層である. 鳥取県西部地震の本震も同様の発震機構である. しかし, 1943 年鳥取地震の震源断層とは直交している.

山陰地方の地震活動の移動や余震の移動が観測されている. 1976 年から 2000 年までの地震 (M4 以上) の震央分布とその時系列分布では, M4 クラスの地震が山陰地方の各地で発生していたのが, 1989 年から鳥取県西部に集中し, 1991 年以降は M4 以上

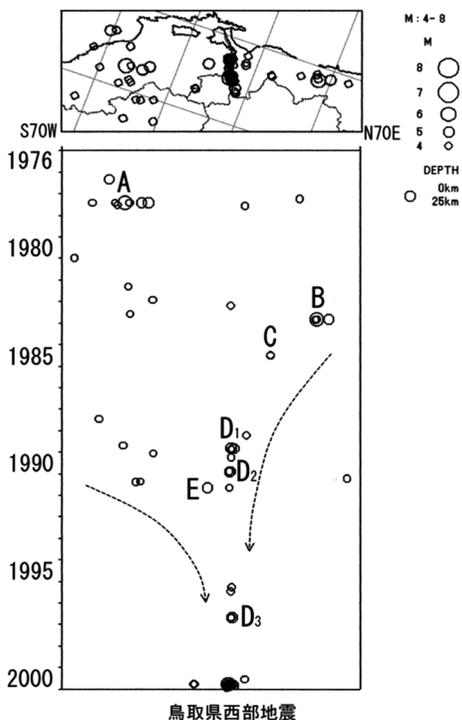


Fig. 5 A Phenomenon to concentrate a seismic activity which occurred before the 2000 Tottori-ken seibu earthquake. A, the 1943 Tottori earthquake ; B, the 1983 Tottori cyubu earthquake ; C, the 1985 earthquake occurred near Mt. Daisen ; D1, D2, D3, the 1989 1990 1997 earthquake swarms in Tottori-ken seibu area ; E, the 1992 Simane-ken toubu earthquake.

の地震はすべて鳥取県西部地域のみが発生している。このように、鳥根県側では、地震の震源が西から東へ移動し、鳥取県側では東から西へ震源が移動して2000年の鳥取県西部地震の発生へととなった (Fig. 5)。

次に、地下断層での地震の移動現象が顕著に観測された。1980年代から2000年にかけて、鳥取県西部地域で発生したいくつかの地震群の余震活動でも移動や活動域の拡大が見られた。1989年の地震は鎌倉山南方活断層の南東側で発生し、1990年の地震活動はその地下断層が北西へ延長する地域 (鎌倉山南方活断層の北西側) で発生している。1989年と1990年の地震群の移動の走向は、鳥取県西部地震の余震域の走向と完全に一致する。1997年の群発地震は余震域を北西方向へ拡大し、2000年鳥取県西部地震は、これらの地震活動域の走向と完全に重なり、さらに鳥取県米子市、鳥根県伯太町・安来市付近までその活動域を広げている。鳥取県西部地震の余震活動でも、本震発生直後から余震の震源の南東から北西方向への移動が見られる。このような南東から北西方向への震源の移動や活動域の拡大は、この地域の地震活動の特徴のようである (安藤, 2002; Fig. 5)。

3. 温泉観測ネットワーク

2000年鳥取県西部地震の後、国際ロータリークラブ第2690地区から、鳥取大学工学部と京都大学防災研究所に、「地震予知研究：鳥取県・鳥根県・岡山県の特性を生かした研究」が委託され、「温泉観測ネットワーク」研究が始まった。山陰地域は温泉と地震活動の関連を調査研究するのに最適な地域である。この地域の特徴を生かして、温泉水の時間変化を観測し、地震活動との関連を調べる地震予知研究を推進することがなされていることが、海外でも注目された (渡辺ら, 2003; 西田, 2005; Fig. 6)。

山陰地域の特徴は地震活動域、第四紀火山帯、温泉分布がほぼ一致して、海岸線に沿って分布していることである。特徴ある温泉が鳥取、岡山、鳥根県に点在し、温泉を活用した地震活動と温泉変化を観測研究するには最適な地域である。温泉近傍で地震が発生することで地震の前兆現象を

海外でも紹介:
ブラジル・サンパウロ
「山陰の温泉観測ネットワーク」
(鳥取大・京都大)

2002年1月29日(火)発刊のブラジル・サンパウロ市の日系新聞「ニッケイ新聞」に湯ニ〜ク研究として紹介されている。

温泉で地震予知をすること、地域に多くの温泉があり、それを活用している例として紹介されている。

Fig. 6 The prediction of earthquakes by monitoring of hot springs published in Japanese newspaper of Sao Paulo city, Brazil.

観測することが期待できる。

3.1 温泉観測の状況

使用した観測孔は新たにボーリングするのではなく、今まで鳥取県などで温泉調査のために、掘削されたボーリング孔を行政機関や民営旅館などの協力により使用許可を得て、温泉や井戸の水溫・水位の観測を行っている。観測点は初期の段階では鳥取温泉、岩井温泉、鹿野温泉、三朝温泉、奥津温泉、湯谷温泉、湯原温泉、出雲湯村温泉、鷺の湯温泉、日野町(地下水)、新見千屋温泉、吉岡温泉、南部町東上(地下水)、南部町諸木(地下水)、三瓶温泉の15地点である(Fig. 7; Table 1)。この中で自噴は奥津温泉、吉岡温泉、湯谷温泉、湯原温泉、出雲湯村温泉で、他温泉ではボーリング孔内にセンサーを下して観測をしている。センサーの設置場所については観測井の温度勾配を調べ、一番水溫の高い深さや今度勾配が一定になる深さにセンサーを設置している(Table 1)。観測を実施して行く段階で、センサーがタンク内に設置している観測点は外氣溫や人工的ノイズ等の影響が大きく、それらの観測点は終了した。また、水道水などに使用している観測井は汲み上げによる変化が大きく、解析するまでに至らなかった。また、河川のすぐ傍で増水などにより観測井が大きく変動し、温泉水の変化を観測するのに不適な観測井があった。2014年3月現在、稼働している観測点は鳥取温泉、岩井温泉、三朝温泉、奥津温泉、湯谷温泉、鷺の湯温泉、吉岡温泉の7点である。

観測データは水溫・水位共に10秒間隔で測定した1分間の平均値を観測点のデータとする。水溫の分解能は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、送信システムがある。鳥取大学の観測センターから各観測点のデータを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(Fig. 8)。

観測は以下の順序で実施されている。

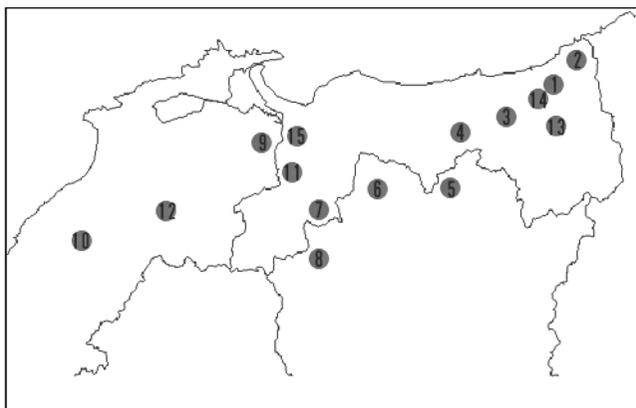


Fig. 7 Distribution of monitoring hot spring stations in San-in region.

1, Tottori ; 2, Iwai ; 3, Shikano ; 4, Misasa ; 5, Okuthu ; 6, Yubara ; 7, Hino (underground water) ; 8, Niimi-chiya ; 9, Saginoyu ; 10, Sanbe ; 11, Nanbu-tozoy ; 12, Izumoyumura ; 13, Yudani ; 14, Yoshioka ; 15, Nanbu-moroki (underground water).

Table 1 Some characteristics of hot spring monitoring stations for the prediction of earthquakes in San'in region.

観測点	設置位置	深さ(m)	測定状況		GPS時計	備考
			水温	水位		
①鳥取温泉	ボーリング	175	○	○	○	温泉掘削井
②岩井温泉	ボーリング	150	○	○	○	温泉掘削井
③鹿野温泉	ボーリング	35	○			温泉掘削井
④三朝温泉	ボーリング	25	○	○		温泉掘削井
⑤奥津温泉	ボーリング	130	○			温泉掘削井・湧出
⑥湯原温泉	タンク	タンク内	○			温泉掘削井・湧出
⑦日野町	ボーリング	100	○	○	○	地下水
⑧新見千屋温泉	タンク	タンク内	○			くみ上げ滞留槽
⑨鷺ノ湯温泉	ボーリング	55	○	○	○	温泉掘削井
⑩三瓶温泉	パイプ	タンクパイプ	○			温泉湧出井・湧出: 停止中
⑪南部町東上	ボーリング	80	○			地下水・湧出: 停止中
⑫出雲湯村温泉	タンク	タンク内	○			温泉湧出井・湧出
⑬湯谷温泉	ボーリング	25	○			温泉湧出井・湧出
⑭吉岡温泉	パイプ	00パイプ	○			温泉掘削井・湧出
⑮南部町諸木	ボーリング	20	○	○		地下水

- (1) 各観測点では、温度計 (PXW46, センシトロン製), 水位計 (水圧式水位計, STS 製) を設置し, データロガー (LS-3350, 白山工業製) に収録する.
- (2) 温度観測は全点, 水位観測は 6 か所, GPS 観測を 4 点で実施している.
- (3) 観測は 10 秒毎に観測し, 1 分間の平均値を観測値としている.
- (4) 収録データは電話回線を利用して, 観測センターで 1 日 1 回自動回収・記録する.
- (5) 観測センターでデータの表示, 解析を行い, 地震観測データ等を基に地震活動との関係を調べる.
- (6) 鳥取大学に「温泉観測ネットワーク」として, 観測データ, 解析の結果は, 速報としてホームページに公開している.

URL : http://www.geosd.jp/onsen_k/index.htm

ホームページでは, 観測点毎の温度・水位の変動が見ることができ, 今までに地震前後に温泉水が変動した例をトピックスとして見ることができる (西田ら, 2002; 渡辺ら, 2003; 野口ら, 2004).

3.2 温泉水変化の観測

温泉水の変化は, 自然現象の変化だけでなく, 人工的な変化 (温泉地での汲み上げ) なども記録されている. 長期の変動は, 季節変化が大きい, 機械的なノイズも発生している. 冬の時期の気象現象である落雷には温度計など地中にある機器が故障した. また, 降雨による河川の増水が温泉水の変動に影響を与えていることが示される. 人工的な変動では, 汲み上げ量が休日前に多くなるために温泉水に週周期が見られる. 短期的な変化では, 三朝温泉などは決まった時間に汲み上げがあり, 日変化として記録されている. 自然現象では, 月と太陽による地球潮汐が記録されている. これは地下の変化が観測に現れているので, 地下状態を伝達するよい観測点と言える.

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るので, 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, 地震後の変化が数多く観測されている. ここでは, 2004 年スマトラ沖超巨大地震と 2011 年東

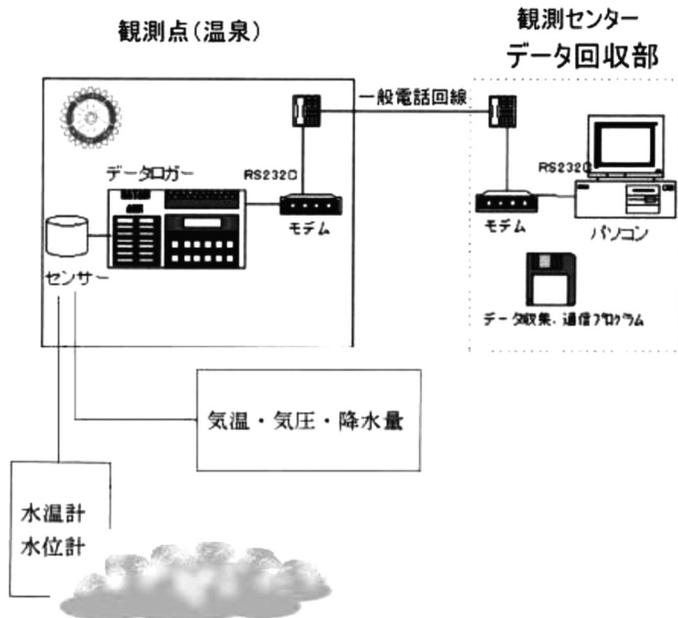


Fig. 8 Monitoring system of hot spring stations for the prediction of earthquakes.

北地方太平洋沖地震（東日本大震災）の観測事例を示す。

○2004年12月26日10時頃（日本時間）にスマトラ島沖地震（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。鷺の湯温泉の変化は観測抗の状況が大きく異なったのではないかと推測される（Fig. 4）。水位観測では地球を回ってくる表面波に反応して、山陰地域の100km離れた鳥取温泉（岩井温泉）と鷺の湯温泉がほとんど同じように変化している地下水水位が観測された。温度変化でも、奥津温泉、鷺の湯温泉、岩井温泉では同時に変化したが、鳥取温泉では約2時間後から温度が上昇し始めている（西田ら、2005；Fig. 9）。

○2011年3月11日14時30分頃（日本時間）に東北地方太平洋沖地震（M9.0）の変化

2011年3月11日、「東北地方太平洋沖地震（M9.0）」が発生し、太平洋沿岸域に甚大な津波被害を受けた。鷺の湯温泉は地震直後に温度が低下し、その後上昇しその影響は約1年間継続されている。吉岡温泉は温度が上昇し2時間後に最高値に達し、その後は温度が低下してきている。岩井温泉では水位変化が地震の表面波と連動して短周期変化を示していることが記録されている（Fig. 10）。この超巨大地震後の温泉変化では、岩井温泉、湯谷温泉、鷺の湯温泉は顕著な温度上昇を示している。特に岩井温泉と湯谷温泉では約1年間この影響が持続された（Fig. 11）。

4. 岩井温泉の長期間の温泉変動

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。よく見ると、温度上昇は直線的であるが、2004年のスマトラ沖地震と2011年の東北太平洋沖地震の時に

スマトラ沖巨大地震 温度変化

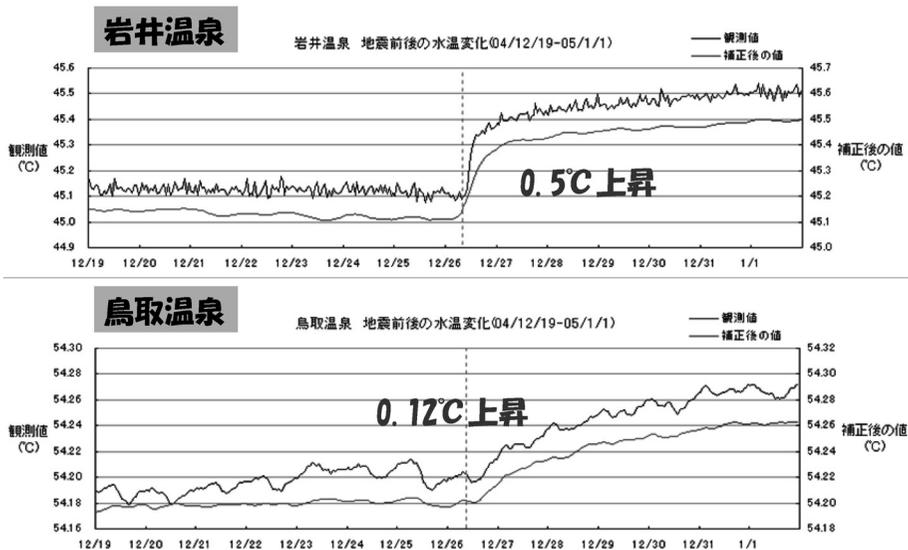


Fig. 9 Coseismic hot spring water changes of the 2004 Sumatra earthquake in 2 weeks.

ギャップが出来ている。そして、短期的には、岩井温泉は今までに見て来たように、地震が発生するとその度に温度変化が伴っている。地震が発生すると温度が上昇し、一定期間後にほぼ元の温度に戻っている。

地震直後の温泉水変化を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、鷲の湯温泉である。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度変化が観測され、岩井温泉の事例では地球に発生する地震の度に変化していることが記録されている (Fig. 12, Table 2)。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。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)。

5. ま と め

山陰地方では、被害地震と微小地震の震源の分布が日本海沿岸に沿って線状に配列をしている。しかし、各地震群の震源断層は(鳥取地震を除いて)線状配列の走向とは共役な方向で、ほぼ東西方向の圧縮応力がはたらいている。それぞれの地震活動では、震源や活動域の移動など特徴的な活動が見られる。

1) 日本海沿岸に沿う地域は西南日本内帯の地震活動域の1つで、地震活動域が帯状に分布してい

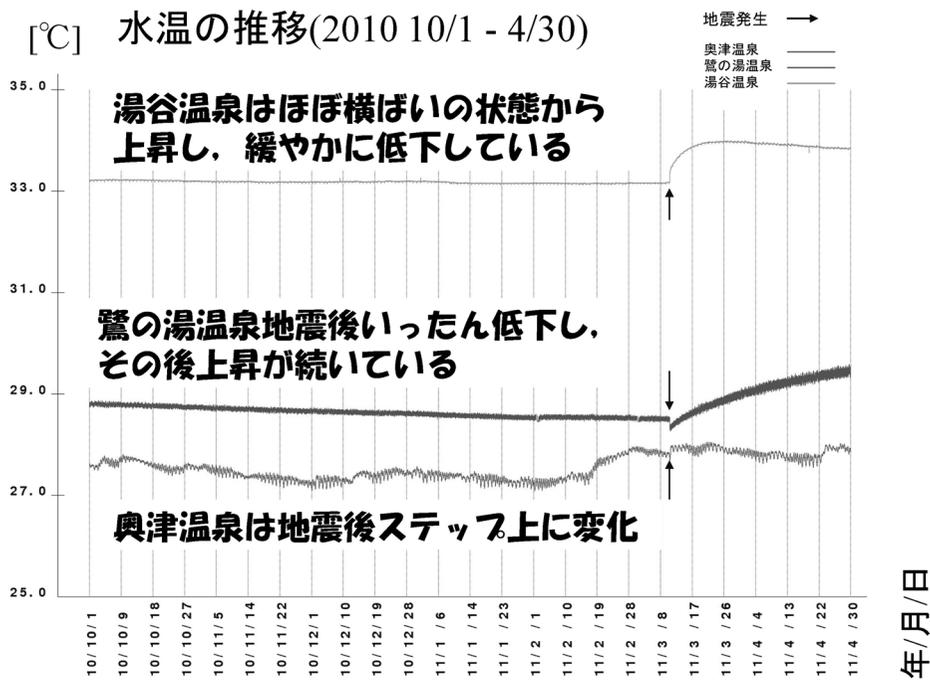
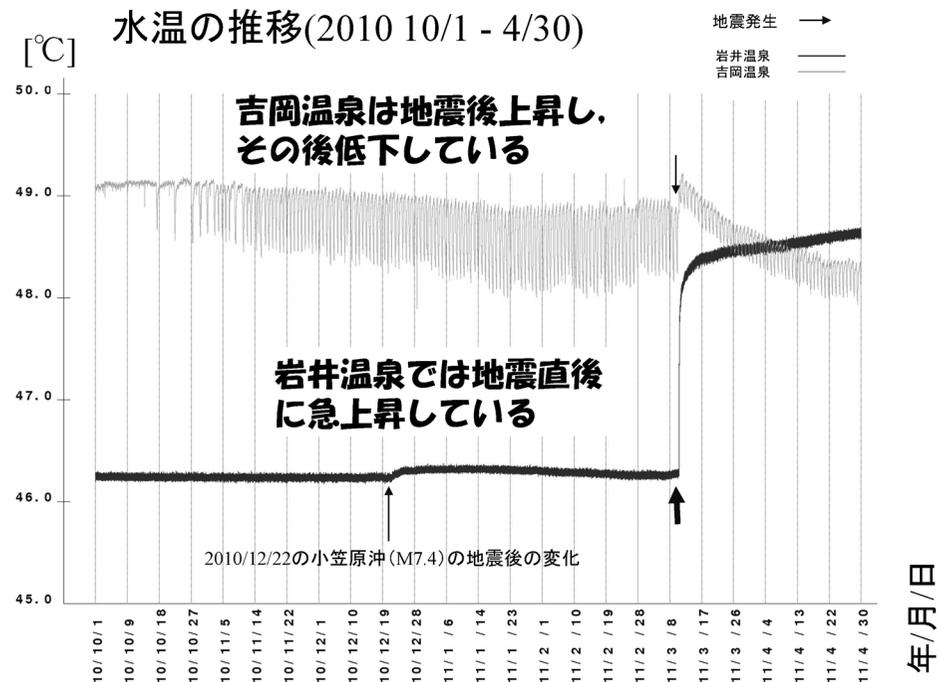


Fig. 10 Coseismic hot spring water changes of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake at Yosioka, Iwai, Yudani, and Okutu hot springs, respectively.

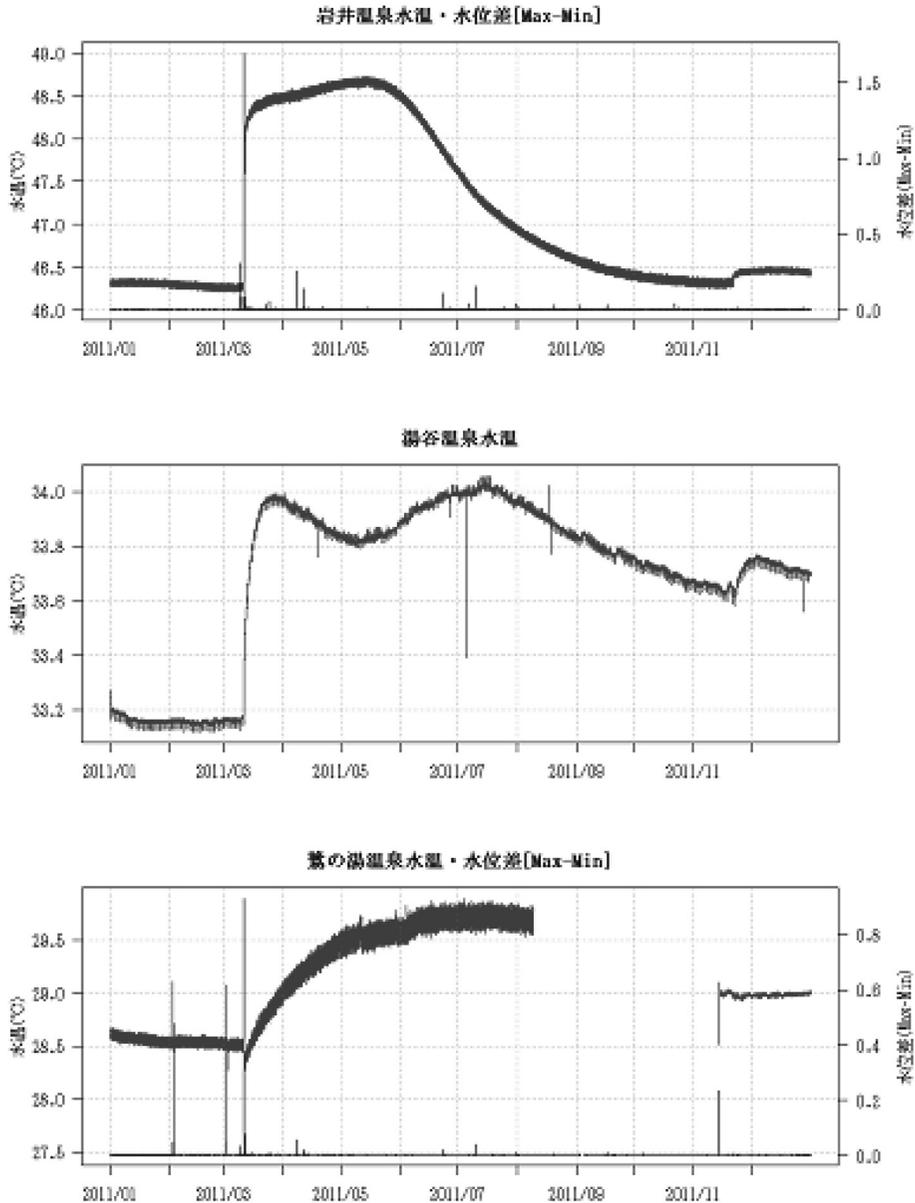


Fig. 11 Temporal variation in the hot spring water in 2011, and show coseismic hot spring water changes of the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake at Iwai, Yudani, and Saginoyu hot springs, respectively.

る。5つの大地震の発生、火山分布・温泉分布などとの関連が見られる。

- 2) 山陰地方の主な地震の震源断層は、日本海沿岸に沿った活動域とは共役な走向をもち、左横ずれ断層型 (NW-SE 走行) である。鳥取地震だけがほぼ東西走向の右横ずれ断層型である。北丹後地震、鳥取県西部地震、鳥取県中部の地震、三瓶山付近の地震などは地震活動域の走行に直交する震源断層を示している。

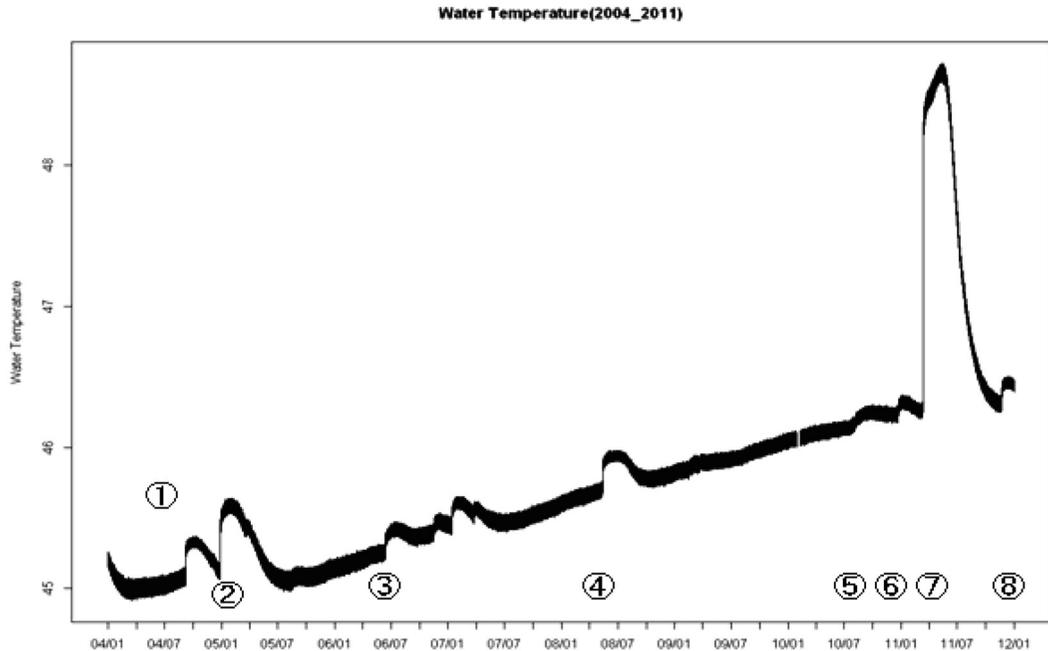


Fig. 12 Long temporal variation in the hot spring temperature from Jan. 2004 to Dec. 2011, Iwai hot spring. Numbers are shown earthquakes in Table 2.

Table 2 Earthquakes showed in Fig. 12, from Jan. 2004 to Dec. 2011.

Date	Time	Latitude	Longitude	Depth (km)?	Magnitude (M)	Comments
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

- 3) 鳥取県西部地震は、山陰沿岸地震活動域の M7 クラスの地震の空白域で発生した。
- 4) 1976 年から 2000 年までの山陰地方の地震活動 ($M \geq 4$) において、鳥取県西部地域への地震活動の集中が見られた。地震活動は大体東から西へと移動している。最近の活動の移動速度は約 10 km/年である。移動は、鳥取県西部地域の地震活動に特徴的である。
- 5) 鳥取県西部地震の余震活動の中で、南東から北西方向への震源の移動が見られた。
- 6) 山陰地方の温泉 15 点で温泉温度と 6 点で水位の観測を実施し、現在、岩井温泉、鳥取温泉、

湯谷温泉, 吉岡温泉, 三朝温泉, 奥津温泉, 鷲の湯温泉観測を継続している。

- 7) 温泉の温度は長期間に変動する変化と, 地震前後に変化する短期的変化が見られる。
- 8) 2004年スマトラ沖超巨大地震と2011年3月11日の東北地方太平洋沖地震の変化は長期間にわたって温泉に影響を与えた。
- 9) 岩井温泉では長期間変動があり, 約10年間で約1°Cの温度上昇が観測された。大地震後に温度が上昇し, 時間経過と共に元の温度になる。

謝 辞

この論文は, 鳥取大学工学部土木工学科地圏環境工学研究室の野口竜也博士はじめ, 多くの方々の支援をいただきました。特に, 水田勝也さん, 竹田条太郎さん, 新藤嵩史さんには大変お世話になりました。また, 放送大学の石賀晶仁さんにはデータ解析でお世話になりました。一緒に観測・研究した皆様に心からお礼申し上げます。

引用文献

- 安藤和也 (2002) : 2000年鳥取県西部地震前後の地震活動について, 鳥取大学大学院教育学研究科修士論文。
- 伊藤 潔 (1990) : 西南日本の地震活動とテクトニクス, 地震, **43**, 555-569.
- Katao H, N. Maeda, Y. Hiramatsu, Y. Iio, S. Nakao (1997) : Detailed Mapping of Focal Mechanisms in/around the 1995 Hyogo-ken Nanbu Earthquake Rupure Zone, *J. Phys. Earth*, **45**, 105-119.
- Kishimoto Y, Nishida R (1973) : Mechanisms of Microearthquakes and Their Relation to Geological Structures., *Bull. Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ.*, **23**, 1-25, 209-234.
- 西田良平 (1980) : 山崎断層周辺の微小地震の発震機構について, 鳥取大学教養部紀要, **17**.
- Nishida, R. (1990a) : 1973 ? , Earthquake generating stress in eastern Chugoku and northern Kinki districts, southwest Japan., *Bull. Disas. Prev. Res. Inst., Kyoto Univ.*, **22**, 197-233.
- Nishida, R. (1990b) : 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)。
- 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.
- 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.
- 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。