

山崎断層の塩田鉱泉周辺の地下水について

小泉 尚嗣・吉岡 龍馬・見野 和夫

ON GROUNDWATER NEAR SHIOTA MINERAL SPRING ALONG THE YAMASAKI FAULT

By Naoji KOIZUMI, Ryuma YOSHIOKA and Kazuo MINO

Synopsis

We have maintained that Cl^- concentration at Shiota mineral spring along the Yamasaki fault in Hyogo Pref. should give information useful for earthquake occurrences near the Yamasaki fault. This time we carried out the survey of groundwater in Yumesaki area which includes Shiota mineral spring and crosses two active faults, in order to know how large is the region where the seismicity along the Yamasaki fault has some effect on groundwater. Distribution of water head, pH, and Cl^- concentration of the groundwater had close relation to these active faults. But we could not detect that water level and Cl^- concentration of the groundwater changed in relation to two earthquakes which occurred during the survey though Cl^- concentration at Shiota mineral spring changed in relation to these earthquakes.

1. はじめに

山崎断層は中国山地東端部の南麓に位置し、ほぼ北西—南東方向に約 80 km の長さをもつ左横ずれの活断層である。この断層は1978年度から地震予知テストフィールドとして選ばれ、地震予知を目的とした総合的（地球物理学的・地球化学的）な観測が行われている¹⁾²⁾（Fig. 1）。筆者らは、地球化学的手法による地震予知研究のために、山崎断層沿いにある塩田鉱泉において、1977年3月から知新荘、同年4月から上山旅館の2ヶ所の鉱泉を選び水質の定期観測を行っている。

観測を開始してから1984年12月までに、塩田鉱泉周辺では M （マグニチュード）3.5以上の地震が6度発生した（主震直後の余震は除く）。また北近畿・中国地方では、同期間中に $M6$ 以上の地震が2つ発生した。これらの地震に対応し、塩田鉱泉の水質は変化してきた³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾。

さて、塩田鉱泉のみならず、その周辺の地下水が地震に対してどのような挙動を示すかを調査研究することが本論の目的である。このような観測は、地震に関連した、塩田鉱泉の水質変動が、Scholz (1973)⁷⁾の指摘するような、地震に伴う大規模な地下水移動によるものなのかどうかを検証する意味をもつ。他方、周辺の地下水と比較した場合、地震予知観測井としての塩田鉱泉の特性を探ることにもなる。すなわちこの研究は、地震予知観測井の備えるべき条件をも与えてくれる可能性がある。

2. 観測地の概要

山崎断層は、4つの大きな断層（大原断層・土万断層・暮坂峠断層・安富断層）といくつかの小断層（そのうちの1つが三木断層）からなり⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾、塩田鉱泉（本論文では、一般に「温泉」と呼ばれているものも、水温が25℃未満のものは「鉱泉」と呼ぶ）は安富断層と暮坂峠断層とに挟まれた地域にある（Fig. 1）。この安富断層は、東方に延長されて有馬・高槻構造線につながると近年言われるようになった（Fig. 1 破線部分）¹¹⁾。

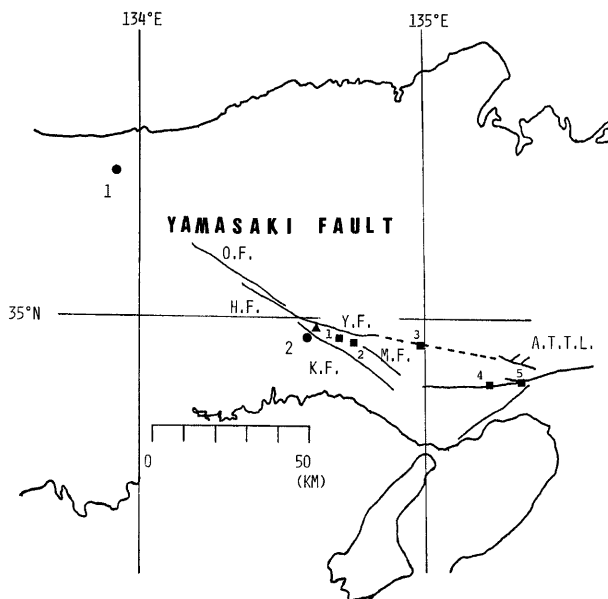


Fig. 1 Locations of the Arima-Takatsuki tectonic line (A.T.T.L.) and the Yamasaki fault. The Yamasaki fault consists of several faults; namely, O.F.: Oohara fault H.F.: Hijima fault Y.F.: Yasutomi fault K.F.: Kuresakatoge fault M.F.: Miki fault. A solid triangle is the Yamasaki fault observation station at Usuzuku. Solid circles with numbers represent epicenters of the earthquakes treated in this study (No. 1: the earthquake in the Central part of Tottori Pref., Oct. 31, 1983 ($M=6.2$). No. 2: the earthquake in the southeastern part of Hyogo Pref., May 30, 1984 ($M=5.6$)). Solid squares with numbers are hot or mineral springs; namely, 1. Shiota mineral spring 2. Nakamura mineral spring 3. Yashiro minearl spring 4. Arima hot spring 5. Takarazuka mineral spring.

この安富断層からその延長部にかけては、塩田・中村・社と鉱泉が湧出している。そして有馬・高槻構造線との結合部付近に有馬温泉・宝塚鉱泉がある。これらの温鉱泉はいずれも $\text{Na}^+ \cdot \text{Cl}^-$ の濃度が高い¹²⁾。以上のことから塩田鉱泉が付近の活断層と密接な関係を有していることが推定できる。

塩田鉱泉のある兵庫県飾磨郡夢前町は、夢前川に沿って南北に伸びた形をなしている。夢前町の西方には安富町があり、その集落は林田川に沿って発達し、夢前町と同様、南北に伸びている。見野 (1979)¹³⁾ は、安富断層・暮坂峠断層が安富町の地下水分布に大きな影響を与えていることを指摘した (Fig. 2)。

Fig. 3 からわかるように、夢前川に沿って多数の井戸が存在している。無論、このような井戸の水は主として不圧地下水と呼ばれるもので、地震に直接関与する水であるとは考えがたい。しかしながら、活断層である安富断層や塩田鉱泉を通る断層 (三木断層の延長部。以後、本論では塩田断層と呼ぶ) がすぐ近くにあり、しかも塩田鉱泉が地表に湧出しているという事実から、これらの一方または双方に関係のある井戸水が存在しても不思議ではない。したがって、塩田鉱泉の水質の異常変化に代表されるような、地殻と関連した地下水の異常変化が、空間的にどの程度の範囲にまで及ぶかを調べるために以下に記す手法を用いて観測を

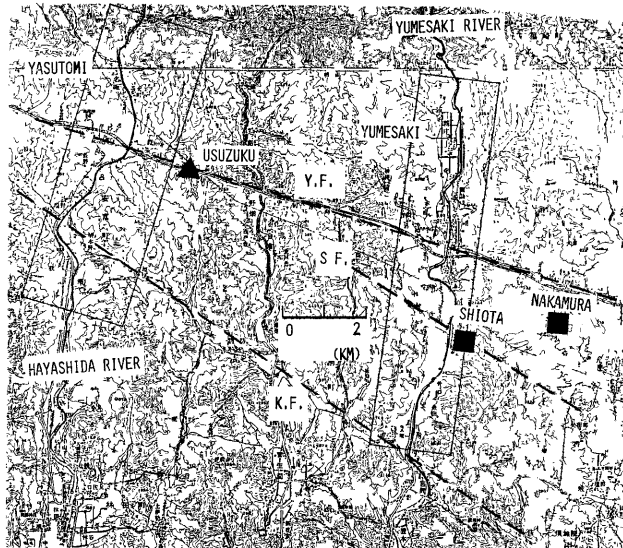


Fig. 2 Observation area is inside of the rectangle named Yumesaki. Solid triangle is the Yamasaki fault observatoion station at Usuzuku. Solid squares are mineral springs. Broken lines are active faults; namely, Y.F.: Yasutomi fault S.F.: Shiota fault K.F.: Kuresakatoge fault. Mino (1979) carried out the survey of groundwater in the inside of the other rectangle named Yasutomi.

行った。

3. 観 測 手 法

最初に、夢前町の井戸水の水頭・水質の空間的な分布の特性を調査し、次に、それらの井戸水の水頭・水質の時間的な変化を調査した。そしてその時間変化と塩田鉱泉の水質変化および周辺の地震活動とを比較検討した。

夢前町内の井戸の地域的分布を考慮に入れ約 100 点の井戸を選び、1979年11月と1983年8月の2回にわたってこれらの井戸水の水頭（井戸から水面までの深さ）・水質の調査を行った。なおこの地域は降雨後、地下水位が降雨前の状態に回復するまでに1～2週間要することがわかっていたので¹³⁾、約2週間続きの晴天の後に観測を行った。観測期間はいずれも3日間である。1983年8月の調査の際には、塩田鉱泉の2つの観測井（知新荘観測井・上山旅館観測井）も含め、約20井でトリチウム測定用の採水も行い、後に低バックグラウンド液体シンチレーションカウンター（Aloka 社製）でその測定を行った。これらの観測結果に基づいて、塩田鉱泉周辺の井戸15点を選び、月1回程度の頻度で水位・水質の調査を行った。この観測期間は、1982年3月から1984年6月までであった。

4. 結 果

・ 夢前町内の井戸水の水頭・水質の空間的な分布

Fig. 4 に、夢前町内の約 100 点の井戸における水頭・水質の空間的な分布を示す。上から水頭・pH・Cl⁻

濃度である。この図は Fig. 3 の A-A' 線を含む鉛直断面にそれらの値を投影しており、安富断層が通っていると推定される点を原点として南北に座標をとっている。水頭は井戸の標高から水位を引いて計算した。井戸の標高は、2万5千分の1の地形図から読みとったので、この水頭の値には $\pm 5\text{m}$ 程度の誤差が見込まれる。水頭・ pH ・ Cl^- 濃度は、1979年11月と1983年8月の2度の調査結果の算術平均値である。これらの値が、安富断層と塩田断層のところで変化していることがわかる。

Fig. 3 にはトリチウムの測定結果が記してある。塩田鉱泉の観測井(知新荘観測井と上山旅館観測井)のみが 10 TU 未満であり、この値から考えて塩田鉱泉の鉱泉水は少なくとも1952年(水爆実験開始年)以前の降水を含んでいると推定できる¹⁴⁾。

・ 塩田鉱泉周辺の井戸水の水頭・水質の時間的変化

上述の結果により、塩田断層沿いの井戸水の水頭・水質が、降水による擾乱を受けない安定な状態においても、塩田断層の存在に大きく影響を受けていることが理解できよう。そこで、井戸水の水頭・水質が降水や地震によってどの程度変化するかを検討するために、塩田鉱泉周辺の井戸15点を選び、それらの時間的変化の調査を実施した。

1982年3月から1984年6月までの観測期間中、1983年10月31日には $M 6.2$ の地震 (Fig. 1-6 の中の No. 1 の地震) が鳥取県中部で、1984年5月30日に $M 5.6$ の地震 (Fig. 1-6 の中の No. 2 の地震) が兵庫県南西部(塩田鉱泉の近傍)でそれぞれ発生した。Fig. 6 に、春(うすずく)の山崎断層観測室における日雨量、塩田鉱泉の知新荘・上山旅館の両観測井における Cl^- 濃度(ほぼ1日1回測定)、および塩田鉱泉周辺の井戸水における水頭と Cl^- 濃度(ほぼ1ヶ月に1回測定)のそれぞれの時間的変化を示す。調査を行った塩田鉱泉周辺の15ヶ所の井戸水の中で、4ヶ所の井戸水 (Fig. 5) の水頭・ Cl^- 濃度の変化の様子を示しているが、他の11ヶ所の井戸水の水頭・ Cl^- 濃度の変化もこの4ヶ所とほぼ同様であった。

No. 1 の鳥取県中部の地震・No. 2 の兵庫県南西部の地震に対して、塩田鉱泉の Cl^- 濃度は顕著な変化を示した。上山旅館観測井の Cl^- 濃度は No. 1 の地震後、それまでの値のばらつきが小さくなり、No. 2 の地震の際には、2~3ヶ月前からスパイク状の大きな変化を示した。知新荘観測井の Cl^- 濃度は、No. 1 と No. 2 の地震直後にそれぞれステップ状に急減し、その後徐々に増加した⁴⁾。これに対し、塩田鉱泉周辺の井戸における水頭・ Cl^- 濃度は No. 1・2 の地震に対応した有意な変化を示していない。したがって、No. 1・2 の地震の地下水におよぼす影響は塩田鉱泉水にのみとどまり、その周辺の(不在)地下水にはおよんでいない。

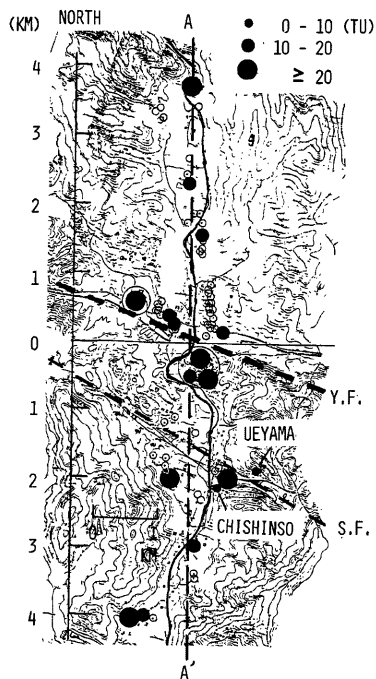


Fig. 3 Detailed map of the observation area (Yumesaki). Open circles represent locations of the observation wells. The size of solid circles shows tritium concentration. Broken lines named Y.F. and S.F. are Yasutomi fault and Shiota fault, respectively. Chishinso and Ueyama are the observation wells at Shiota mineral spring. As to A-A' broken line, refer to Fig. 4.

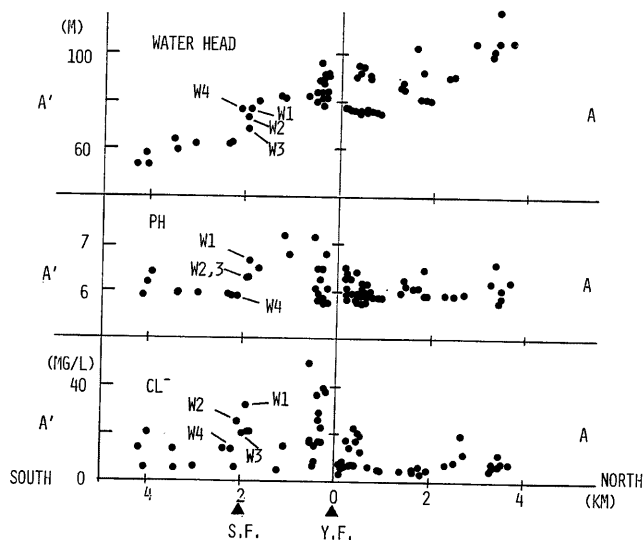


Fig. 4 Distribution of water head, pH, and Cl^- concentration of the groundwater at N-S section which includes A-A' broken line (Fig. 3). These values changed much at Y.F. (Yasutomi fault) and S.F. (Shiota fault). As to W1, W2, W3, and W4, refer to Fig. 5.

いように見える。

5. 考 察

吉岡・小泉 (1984)⁴⁾ は、塩田鉱泉の知新往観測井における、No. 2 の地震（兵庫県南西部の地震）に対するコサイスミックな Cl^- 濃度変化が地下 30 m 以浅の場所で発生したと推定している。これは、塩田鉱泉の周辺の（不圧）地下水が、No. 2 の地震に対して有意な変化を示さないという結果と一見矛盾するようと思われる。地下水に Cl^- 濃度変化の生じている範囲が非常に限定されたものであったのかもしれないし、あるいは、塩田鉱泉周辺の井戸水調査が月 1 回程度（塩田鉱泉の 2 つの観測井の Cl^- 濃度は、ほぼ毎日測定）ということで、地震に関連した現象を見落としたのかもしれない。また、No. 1・2 の地震に対する、知新往観測井と上山旅館観測井の Cl^- 濃度の挙動は明らかに異なるが、過去においては双方が同様な挙動を示した場合もあった⁴⁾。そのような場合には、塩田鉱泉周辺の（不圧）地下水の挙動は上述のそれとは異なってい

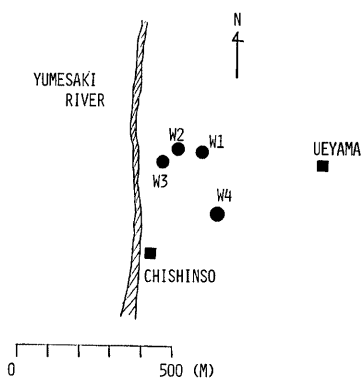


Fig. 5 Local location of the observation wells for investigating time variation of water head and Cl^- concentration of the groundwater (solid squares). W1 means well-1 and so on (Fig. 6).

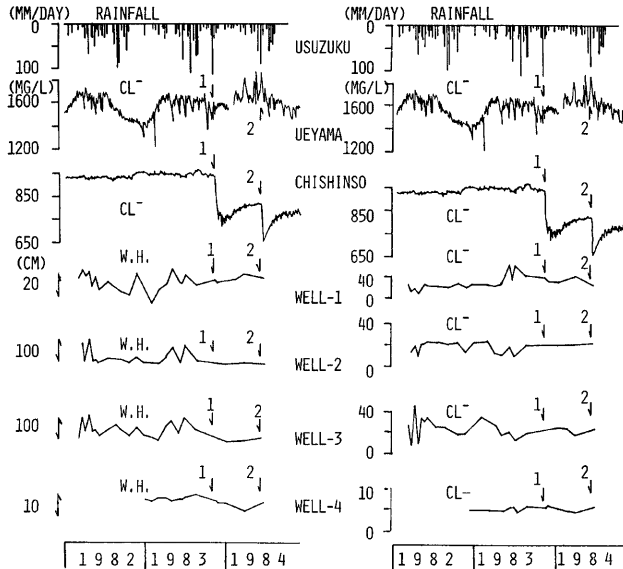


Fig. 6 Left: From top to bottom, time variation of rainfall at the Yamasaki fault observation station at Usuzuku, Cl^- concentrations at Ueyama and Chishinso, and water heads at well-1, well-2, well-3, and well-4. Right: From top to bottom, time variation of rainfall at the Yamasaki fault observation station at Ueyama and Cl^- concentrations at Ueyama, Chishinso, well-1, well-2, well-3, and well-4. Arrows with numbers show earthquake occurrences (cf. Fig. 1).

たかもしれない。いずれにしても、現段階で結論を出すには、時期尚早なので、今後のより詳細な観測が必要である。何らかの形で、井戸水の水位・水質の連続観測が強く望まれる次第である。

6. お わ り に

夢前町における約 100 点の井戸水の水頭・水質の空間的な分布の調査と塩田鉾泉周辺の井戸における水頭・水質の約 2 年間の時間的な変化の調査から以下のことがわかった。

1. 夢前町の（不圧）地下水の水頭・水質は、安富断層・塩田断層によって大きく影響を受けている。
2. 塩田鉾泉水はトリチウム濃度が周囲の（不圧）地下水に比べて低く、その値から少なくとも 1952 年以前の降水を含んでいるものと推定される。
3. 1983 年 10 月 31 日の鳥取県中部の地震 ($M 6.2$) や 1984 年 5 月 30 日の兵庫県南西部の地震 ($M 5.6$) の際に、塩田鉾泉の水質は大きく変化した。塩田鉾泉周辺の（不圧）地下水の水頭・水質には有意な変化は現われなかった。ただし、塩田鉾泉周辺の（不圧）地下水の水位・水質調査の間隔が約 1 ヶ月と長いのでこの結果にはなお検討の必要がある。

今後は、塩田鉾泉周辺の井戸水の水位・水質の連続観測を行うとともに、断層沿いの湧水を山崎断層全域で調査し、塩田鉾泉のもつ、いわゆる「地震予知のつば」としての特性を、断層構造と関連付けて明らかにしていく予定である。

7. 謝 辞

塩田鉱泉での観測に積極的に協力して下さっている知新荘と上山旅館の方々に深く謝意を表したい。井戸水の観測を心よくお許しいただいた夢前町の皆様および、何かと便宜を図っていただいた夢前町役場の皆様に深く感謝致します。トリチウムの測定に関しては、防災研究所附属鳥取微小地震観測所の矢部征氏に手伝っていただいた。防災研究所微小地震部門の方々には、多くの有益な助言をいただいた。以上の方々に、心から感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 岸本兆方：山崎断層テストフィールドにおける地震予知実験，地震予知研究シンポジウム（1980），1980，pp. 133-142.
- 2) Kishimoto, Y.: On Precursory Phenomena Observed at the Yamasaki Fault, Southwest, Japan, as a Test-field for Earthquake Prediction, EARTHQUAKE PREDICTION —An International Review Maurice Ewing Series 4, 1981, pp. 510-516.
- 3) 吉岡龍馬：山崎断層・塩田温泉の塩素濃度の変化と地震，地震予知研究シンポジウム（1980），1980，pp. 159-162.
- 4) 吉岡龍馬，小泉尚嗣：温泉水の水質変化，月刊地球 Vol. 7, No. 1, 1984, pp. 54-57.
- 5) 小泉尚嗣，吉岡龍馬，岸本兆方：地震に関連した地下水の水質変動を客観的に評価する方法，京大防災研年報，第24号 B-2, 1984, pp. 111-116.
- 6) Koizumi, N., R. Yoshioka and Y. Kishimoto: Earthquake Prediction by Means of Change of Chemical Composition in Mineral Spring Water, Geophys. Res. Lett., (in press).
- 7) Scholz, C. H., L. R. Sykes and Y. P. Aggarwal: Earthquake Prediction: A Physical Basis, Science, Vol. 181, 1973, pp. 803-809.
- 8) 活断層研究会：日本の活断層-分布図と資料，東大出版会，1980，pp. 238-239.
- 9) 藤田和夫：山崎断層系，地震予知研究シンポジウム（1980），1980，pp. 143-147.
- 10) 福井謙三：山崎断層系の変位地形，地理学評論，Vol. 54, 1981, pp. 196-213.
- 11) 茂木 透，西村 進，見野和夫，貞広太郎：近畿北西部の活構造—山崎断層の東方延長地域—，地震2，第38巻，1985，pp. 57-66.
- 12) 益田晴恵：兵庫県東南部に分布する鉱泉についての地球化学的考察，大阪市立大学修士論文，1982.
- 13) 見野和夫：山崎断層周辺の地下水分布(1)—安富町の場合—，地震2，第33巻，1980，pp. 117-130.
- 14) 北岡豪一：トリチウムによる浅層地下水の滞留時間の推定，水温の研究，第26巻，第5号，1983，pp. 5875-5884.