

地下水調査から推定される 神戸市周辺の潜在断層

石井 武政¹⁾・風早 康平²⁾・安原 正也¹⁾・佐藤 努¹⁾

1. まえがき

1995年1月17日早朝に発生した兵庫県南部地震は震源地域の淡路島北部のみならず、明石から神戸、芦屋、西宮、宝塚、伊丹、尼崎、大阪などの各市に大きな人的・物的被害をもたらした。特に淡路島の北淡町や神戸市あるいは芦屋、西宮、宝塚各市の一部は、被害状況調査に基づいて震度7の激震であったと気象庁から発表された。神戸市須磨区から西宮市にかけては、この激震地域は平野部にはほぼ帯状に分布しており、「震災の帯」とも呼称されている。

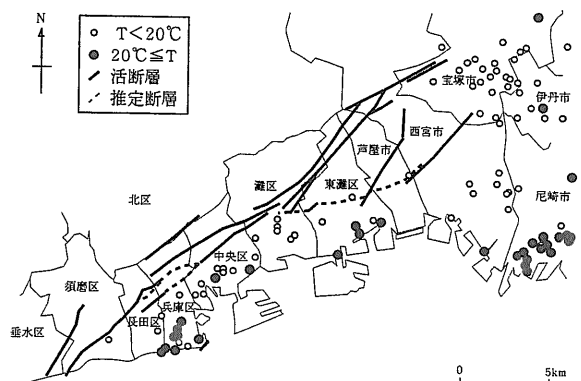
「震災の帯」出現の要因については多くの議論があり、これまでに、微地形説、地盤構造説、地震波の増幅説、未知の断層説、更にはそれらの複合説などが各種の報告会やシンポジウム、マスメディアを通じて発表されている。筆者らは、平野地下に潜在する断層の活動が主因となって神戸市側に大きな被害をもたらしたという一つの作業仮説を立てた。そして、それを水文学の側面から傍証できないかと考え、現地地下水調査を実施した。

2. 地下水温の分布と潜在断層の可能性

尼崎市や伊丹市の全域および西宮市の一部は現在、工業用水法の指定を受けて深井戸による揚水が規制されている。これら3市と神戸市について、現地調査の総括(高橋, 1967)や深井戸の鑿井記録(経済企画庁総合開発局国土調査課, 1964; 国土庁土地局国土調査課, 1975, 1982)から水温を調べてみると、尼崎市や伊丹市は地下水温の増温率が高く、

100 mにつき4~6°Cとなっている。また、神戸市は増温率こそ100 mにつき2°C未満であるが、深度100 mで既に20°Cを越す平均地下水温を示している。西宮市を除いて、神戸、伊丹、尼崎の各市では深度140 m以深でいずれも20°Cを上回る平均地下水温となる。このような言わば高温地下水は、近畿地方の平野部では他に奈良盆地や大阪府の吹田市に存在する(高橋, 1967)。同時に、六甲山周辺には、火山あるいはマグマとは直接関係しないもののマンテル起源成分を含む有馬温泉(小泉ほか, 1986)や、須磨霊泉という鉱泉があることも知られている。

温泉開発を目的としない200 m前後までの深度の井戸で、水温が20°Cを越す地点を第1図に示す。神戸市の長田区や兵庫区、東灘区、更に尼崎市などに高温地下水が集中している。これらのうちの最高水温は長田区にある深度200 mの井戸の28.7°Cである。

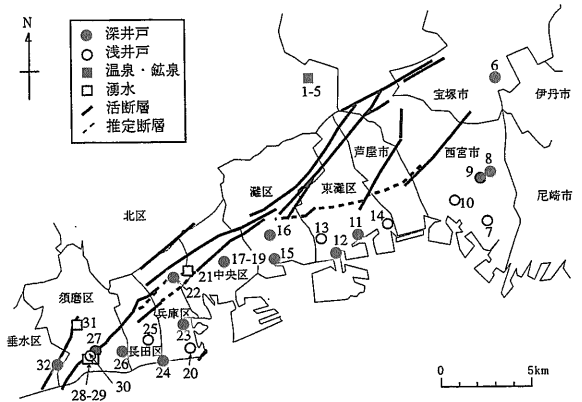


第1図 地下水温が20°Cを越す深井戸と20°C未満の深井戸の分布。主要な活断層の位置(市原ほか, 1991)を併せて示す。

1) 地質調査所 環境地質部
2) 地質調査所 地殻熱部

キーワード：兵庫県南部地震、「震災の帯」、潜在断層、鑿井記録、地下水温、地下水調査

第1図からは、長田区から中央区にかけての地域と東灘区、および尼崎市においてそれぞれ高温地下水をもつ井戸が北東—南西、又は東北東—西南西の方向をもって分布していることが認められる。この方向は六甲山南縁に幾本も存在する活断層の主要な方向と、更には先に述べた「震災の帯」の方向とほぼ同じである。もし高温地下水が地下の亀裂などに支配されたものであるならば、その分布が特定の方向を有するとき、平野下に同方向の潜在断層(又は破碎帯などの裂か系)が存在することを暗示する。これが筆者らの作業仮説の前提となっている。



第2図 現地地下水調査における調査地点。図中の数字は第1表のそれに対応する。

3. 地下水調査の内容とその検討

兵庫県南部地震からはほぼ2カ月経った3月中旬に現地地下水調査を実施した。尼崎市と伊丹市には揚水できる深井戸が事実上ないので、これら2市を除く神戸、西宮、宝塚の各市で可能な限り多くの水井戸を訪ね、現場分析と水試料採取を行った。また、比較のために欠かすことのできない温泉と湧水についても同様な調査を行った。

調査項目は、井戸に関する資料の収集と現場での

水温、水位、自噴水量、導電率、pH、重炭酸などの測定、および実験室における水試料の水質分析、酸素・水素・炭素の安定同位体組成分析、トリチウム濃度測定である。実験室での分析測定作業は継続中であるので、ここでは現場分析の結果の概要を記す(第2図、第1表参照)。

まず水温については、鑿井時の記録と照合して、かつて20°Cを越す水温を示した井戸からは今回も

第1表 現地地下水調査における測定結果一覧。番号は第2図のそれに対応する。

番号	調査地点	深度 (m)	水温 (°C)	水温* (°C)	導電率 (μ S/cm)	pH (25°C)	重炭酸 (ppm)	Cl ⁻ (ppm)	遊離炭酸 (mmol/kg)	全炭酸 (mmol/kg)
1	有馬温泉 (ヘルセンター)	300	64.7		6100	6.2	415		8.6	15.4
2	有馬温泉 (御所泉源-1)	165	82.5		26550	5.9	458		21.0	28.5
3	有馬温泉 (御所泉源-2)		63.5		38400	5.9	220		8.7	12.3
4	有馬温泉 (天神泉源)	185	98.0		76000	3.8	56		342.4	343.4
5	有馬温泉 (炭酸泉源)		18.7		2050	5.3	50		9.6	10.4
6	宝塚市深井戸1	800	36.8		35500	6.4	3831		50.7	113.5
7	西宮市浅井戸1	6	16.6	17.0	375	7.3	138	48	0.3	2.6
8	西宮市深井戸1	155	16.5		180	7.5	62	35	0.1	1.1
9	西宮市深井戸2	150	18.3		220	6.9	107		0.6	2.4
10	西宮市浅井戸2	5	10.6		330	7.0	174		0.8	3.6
11	東灘区深井戸1	204	20.8	21.0	390	7.2	144	142	0.4	2.7
12	東灘区深井戸2	200	19.2	20.0	225	7.2	143	11	0.4	2.7
13	東灘区浅井戸1	30	18.0		210	6.8	73		0.4	1.6
14	東灘区浅井戸2	10	16.5		34500	6.4	149		2.3	4.7
15	灘区深井戸1	50	18.5		175	7.4	117		0.2	2.1
16	灘区深井戸2	75	18.4	17.0	215	7.2	98		0.2	1.8
17	中央区深井戸1	100	18.4		300	6.8	96		0.7	2.2
18	中央区深井戸2	727	25.2		645	6.5	366		4.1	10.1
19	中央区深井戸3	1006	37.7		1500	8.0	183		0.1	3.1
20	兵庫区浅井戸1	5	16.0		23000	7.4	181	364	0.3	3.3
21	兵庫区湧水1		10.7		210	7.9	94		0.1	1.6
22	兵庫区深井戸1	200	24.8		1080	6.4	647		8.8	19.4
23	兵庫区深井戸2	200	21.2		550	6.8	166		1.1	3.8
24	長田区深井戸1	200	18.3	28.7	33500	7.6	317	13	0.3	5.5
25	長田区浅井戸1	6	14.4		475	6.9	200		1.1	4.4
26	須磨区深井戸1	230	21.3		305	7.0	187	11	0.7	3.8
27	須磨区深井戸2	80	18.3	18.0	235	7.2	115	14	0.3	2.2
28	須磨寺霊泉		14.3		255	6.7	85		0.8	2.2
29	須磨寺霊泉		17.1		265	6.4	76		1.2	2.4
30	須磨区浅井戸1	20	18.7		225	7.2	113		0.3	2.2
31	須磨区湧水1		14.0		145	7.0	77		0.3	1.6
32	垂水区深井戸1	200	17.9		235	8.1	117		0.0	2.0

*鑿井記録より

ほぼ同様な値を得た。ただし、以前28.7°Cの最高水温を記録していた長田区の深井戸1は地震により損壊し、井戸ケーシング内に海水が浸入したため、比較すべき水温を測定することができなかった。

水位・水量の点で地震後に変化のあったものは灘区の深井戸1と東灘区の深井戸2で、自噴状態となっていた。また聞き取り調査によれば、兵庫区の深井戸1は湧水量が2倍以上に増加し、宝塚市の深井戸1では地震後に水が濁るという変化が認められた。

第1表の中で注目されるのは導電率と全炭酸の相関であり、両者は正の関係にある。これを両対数グラフに表わすと第3図のようになる。導電率が20000~40000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ の範囲にあるにもかかわらず、全炭酸が10 mmol/kg 未満の値を示す3本の井戸はいずれも臨海部において塩水化の影響を被っているためである。これらを除くと、導電率と全炭酸の双方が高いものは、温泉あるいは温泉開発を目指した深層ボーリングからの水試料に限られる。

温泉水や深層ボーリングから導かれる地下水は、当然のことながらその水温も高い。そこで水温と全炭酸との相関をみると(第4図)、やはり正の関係にあることが判る。六甲山周辺の温泉の成因やメカニズムについては未だ不明な点が多いが、仮に基盤の断層に関連するものであるならば、断層に沿って深部の高温水が上昇し、その高温水が浅部の地下水に混入して形成されているものと考えられる。深部の高温水は通常、ガス(主に炭酸ガス)に飽和しているので浅部の地下水層に達したときに遊離ガスを生じる。水温40°C以下で全炭酸の濃度が高い温泉水

は、高温水の混入だけではなく、遊離ガスの混入も考えられる。このように考えると、水温と全炭酸との間の正の関係を一応説明することができる。

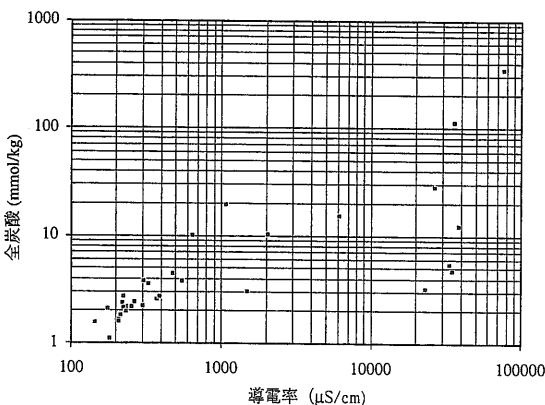
神戸市などの平野部にある深度200 m程度までの深井戸に、水温も導電率も、更に全炭酸も少しずつ高いものがあり、かつそれらが先に記したとおり帯状に分布することは、平野下の基盤岩を切る断層あるいは破碎帯が存在する可能性を強く示唆する。しかも、その方向は北東—南西、又は東北東—西南西であり、六甲山周辺に知られる活断層の方向と調和的である。

4. あとがき

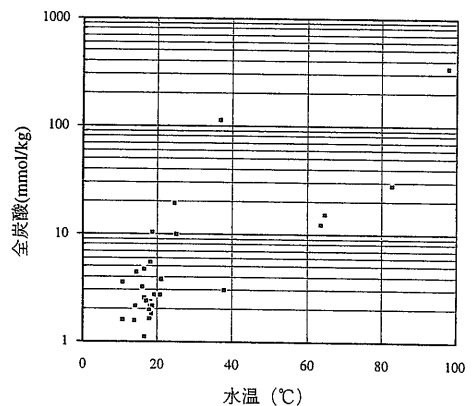
深井戸の鑿井記録や今回の現地地下水調査における現場分析などから、筆者らは神戸市街地の平野下には北東—南西、又は東北東—西南西方向の未知の断層が潜在すると考えている。問題はその断層が活動して、兵庫県南部地震における「震災の帯」をもたらしたのかどうかである。この問題解決のためには、同位体学的手法により地下水の起源や年齢を推定すること、地表近くの土壌中に拡散している可能性のある深部高温水に由来する遊離ガスを採取分析することなどを行わなければならない。

この小文では全く触れることのできなかった一般水質組成と現在処理中の同位体に関わる項目については、最終的な分析結果を待って稿を改めて報告したい。

付記：現地地下水調査と井戸資料の収集に当たり、近畿通商産業局産業施設課および神戸、西宮、宝塚



第3図 導電率と全炭酸との相関。



第4図 水温と全炭酸との相関。

各市の多くの企業・事業所の関係各位に大変お世話になりました。震災後の復旧に向けて全力を挙げて取り組まれている中、貴重な時間を割いていただき、厚くお礼申し上げます。お名前を総て記すべきところですが、紙面の都合もあり略させていただきます。なお、地質調査所大阪地域地質センターからは諸般の協力をいただきました。末筆ながら被災者の皆様にお見舞い申し上げます、また被災地の一日も早い復興をお祈り致します。

文 献

市原 実・吉川周作・三田村宗樹・水野清秀・林 隆夫(1991) : 12万5千分の1「大阪とその周辺地域の第四紀地質図」. アーバンクボタ, no. 30.

経済企画庁総合開発局国土調査課(1964) : 全国地下水(深井戸)資料台帳近畿編. 923p.
 小泉尚嗣・吉岡龍馬・赤松 信・西村 進・岸本兆方(1986) : 山崎断層周辺の温鉱泉について. 京都大学防災研年報, no. 29B-1, 59-66.
 国土庁土地局国土調査課(1975) : 近畿圏地下水(深井戸)資料台帳. 1233p.
 国土庁土地局国土調査課(1982) : 全国地下水(深井戸)資料台帳近畿編. 456p.
 高橋 稔(1967) : 地下水地域調査にみられる水温の総括的研究. 地調報告, no. 19, 42p.

ISHII Takemasa, KAZAHAYA Kohei, YASUHARA Masaya and SATO Tsutomu (1995): Concealed fault in and around Kobe City inferred from groundwater survey.

〈受付/受理 : 1995年 4 月26日/5 月20日〉

阪神・淡路地域の地質図幅

阪神・淡路地域には以下の地質図幅があり、市販されています。地震発生直後、一部の図幅が在庫切れになっていたため関係者には大変ご不便をお掛けしましたが、それらはその後増刷しました(下記の*印)。購入希望者は下記へお申し込み下さい。

- 5 万分の 1 地質図 : *明石(¥2,400), 洲本(¥2,600), 三田(¥2,900),
 *神戸(¥3,100), 須磨(¥2,400), 広根(¥3,500), *大阪西北部(¥2,400),
 大阪西南部(¥2,400), *岸和田(¥3,700)
 20万分の 1 地質図 : *京都及び大阪(¥2,300), 姫路(¥1,800), 徳島(第 2 版)(¥2,300)
 50万分の 1 活構造図 : *京都(¥1,700), 岡山(¥1,800), 高知(¥1,500)

問い合わせ : 地質調査所地質情報センター 情報管理普及室 0298-54-3606

直接入手 : 地質調査所地質標本館 0298-54-3750

直接入手・通信販売 :

東京地学協会(東京, 市ヶ谷) 03-3261-0809

日本産業技術振興協会

(代行)地学情報サービス(つくば) 0298-56-0561

関西地図センター(京都) 075-761-5141