

Lifeline of Drinking Water while the Noto Hanto Earthquake in 2007 Struck the Noto Peninsula, Ishikawa Japan: What do we do quickly?(<Special Issue>The Noto Hanto Earthquake in 2007 (Part1))

メタデータ	言語: jpn 出版者: 公開日: 2021-07-26 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: メールアドレス: 所属:
URL	https://doi.org/10.24517/00061692

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 International License.



能登半島地震被害地の生活水（井戸水，湧き水，山水）の調査結果：
地震災害時の迅速な指導と指示田崎和江^{*}・馬場奈緒子^{**}・佐藤和也^{**}・奥野正幸^{**}・福士圭介^{**}Lifeline of Drinking Water while the Noto Hanto Earthquake in 2007 Struck
the Noto Peninsula, Ishikawa Japan: What do we do quickly?TAZAKI Kazue^{*}, BABA Naoko^{**}, SATOH Kazuya^{**},
OKUNO Masayuki^{**} and FUKUSHI Keisuke^{**}

Abstract The magnitude-6.9 Noto Hanto Earthquake struck at 9:41 a.m. 25th March 2007, off the north coast of Ishikawa Prefecture. The quake started under the ocean about 30 km southwest of Wajima, shaking up Ishikawa, Toyama and Niigata prefectures and cutting electricity and drinking water system to some 160,000 households, killing one person and damaging hundreds of houses. The quake also crippled public transportation, including Noto airport, and cut water to about 9,500 households. All residents, especially those who are near the hardest-hit area, are advised to use drinking water collected from spring, well and mountain natural water with extra caution, because the water got become muddy in white, gray, and brown color after the quake. Some of water changed to acidic pH 5.4-5.9 from neutral pH is not drinkable due to SO₄. The legal standard of pH for drinking water is pH 5.8 - 8.6. The water contained 5-10 times of SO₄ higher than standard concentration of SO₄, but looking transparent after one week. The field measurements of water pH suggest that high SO₄ contents are due to acidic drinking water, agreed with XRF, ion-chromatography, and SEM-EDX analyses. After 3 weeks, water pH 5.9 backed to the normal pH 6.5, but NO₃, Ca and Mg contents were still higher than before the quake. We have ordered the government to work, toward securing the citizen's safety and take all possible measures of drinking water to rescue them. The health center office must take care of spring water, well, and mountain natural water to check pH as soon as possible associated with CFU (Colony Forming Unit) check.

Key Words : The Noto Hanto Earthquake in 2007, drinking water, springs, well, mountain natural water, pH, SO₄

はじめに

2007 年 3 月 25 日 9:41 に石川県能登半島を中心に発生した石川県内過去最大のマグニチュード 6.9 の地震調査に金沢大学理学部地球学科のスタッフと学生は取り組んでいる。断層、隆起、崩落、液状化、墓石倒壊、家屋損壊などの地震活動調査と研究をさまざまな視点から行っている。なお、金沢大学全体としても理工系のみならず文系、医療系をも含めた「金沢大学能登半島地震学術調査研究部会」を 4 月 5 日に立ち上げ、4 月 21 日には調査研究成果の報告会を行い、かつ、その内容を 4 月 27 日からパネル展示を行った。田崎研究室のゼミ生は 300 回近い余震のなか、3 月 25-26 日に七尾と氷見の液状化、門前の赤崎漁港付近の隆起現地調査をはじめと

し、4 月 3-4 日、8 日、10 日、19 日と志賀、穴水、輪島、門前、大沢の生活水の実態調査および空間放射能測定の実地調査を行った。ここでは、能登の生活に欠かせない井戸水、湧き水、山水についてその水質変化と安全対策について報告する。

地震直後に県内 13,250 世帯が断水になった。今回の地震で最も大きな被害に見舞われた輪島市は、2 週間ぶりで同市門前町の深見地区で断水が解消した。4 月 4 日現在、輪島市では 50 所帯が断水したままであったが、4 月 7 日ですべての地域で断水が解消し、ライフラインが完全復旧した。一方、地震発生から 9 日目の 4 月 2 日、輪島市門前町全域で下水道が復旧し、トイレや風呂、炊事、洗濯などで使った水を下水道に流すことができたが、一部地域で地下水が下水道に流れ込む箇所があった。また、能登半島の住民が愛飲してきた各

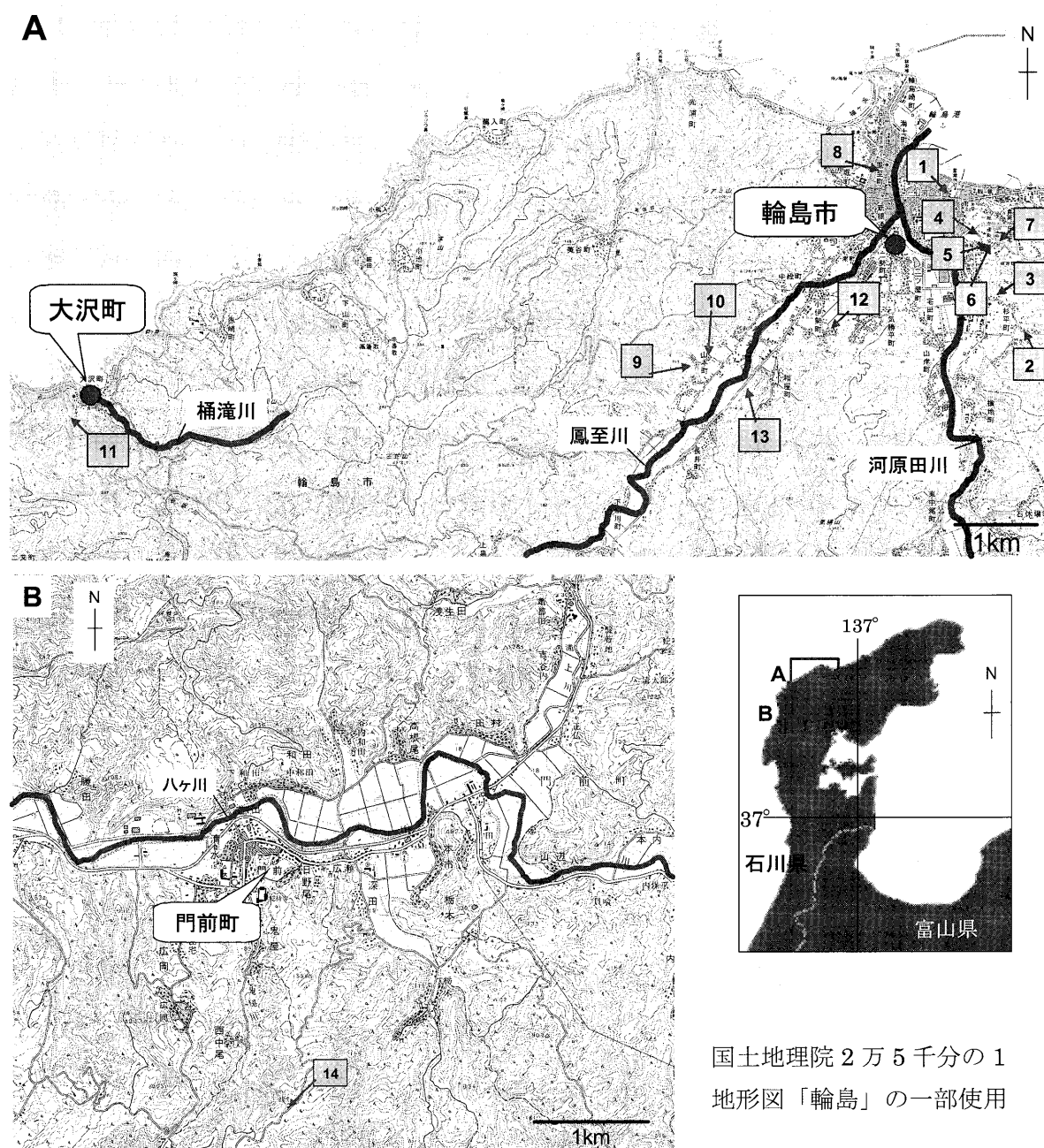
2007 年 5 月 14 日受付。2007 年 5 月 30 日受理。

^{*} 北陸支部。金沢大学大学院自然科学研究科 〒920-1192 金沢市角間町

Graduate School of Natural Science and Technology, Kanazawa University. Kakuma, Kanazawa, 920-1192 Japan.

^{**} 金沢大学大学院自然科学研究科 〒920-1192 金沢市角間町

Graduate School of Natural Science and Technology, Kanazawa University. Kakuma, Kanazawa, 920-1192 Japan.



第1図 現地調査および試料採取地点

Fig.1 Location map of the study sites in Wajima and Monzen, Ishikawa, Japan.

地の湧き水や井戸水，山水が，地震直前，直後から濁りを生じ危惧していた。例えば，七尾市中島町藤瀬の名水が黄色く濁り，濁りが消えてもとの状態に戻るのに7日間もかかった。また，地震直後は中島町も断水が続き，濁った水でも飲んで帰る人が多くいた。さらに，輪島市の温泉水が出なくなり，門前町の温泉の泉質が変化した。

本研究では，能登半島地震直後に濁りを生じた井戸水，湧き水，山水の水質を現地で測定し，採水した試料を実験室に

持ち帰り，化学組成分析や電子顕微鏡観察などを行い，濁りの原因や起源を探った。そして，その変化から飲料に適さない水について，被害地域の住民に迅速な指導や保健所での分析を提言した。また，比較のために輪島市と門前町の温泉水の調査も行った。

試料および実験方法

水質測定は輪島市内と門前町の井戸水，湧き水，山水の

番号	場所	現地での水質測定							蛍光X線分析(XRF) (半定量: wt%)												イオンクロマトグラフィー(定量: mg/L)					備考		
		水の種類	pH	Eh(mV)	EC(mS/cm)	DO(mg/L)	DO(%)	水温(℃)	Na	Mg	Al	Si	P	S	K	Ca	Mn	Ti	Fe	Br	F	Cl	NO ₃	PO ₄	SO ₄	濁水の色	濁った日時	濁った期間
1	輪島市河井町(足湯湯楽里)	温泉	8.4	290	25.3	-	49	55.9	3.9	nd	0.7	4.1	nd	7.8	0.6	81.9	nd	nd	nd	0.8	nd	10000	nd	nd	620	-	-	-
2	輪島市杉平町 (D宅)	井戸水(4m)	7.3	358	0.304	-	99	8.0	23.6	5.6	4.3	40.9	nd	nd	3.6	21.5	nd	nd	0.4	nd	0.08	25	1.8	<0.25	9.4	白色	3月25日	3日間程
3	輪島市杉平町 (E宅) *	井戸水(2m)	5.9	474	0.247	-	57	10.5	9.9	5.4	0.1	23.3	nd	40.3	4.8	16.2	nd	nd	nd	nd	0.16	23	<0.5	<0.25	47.0	白色	2.3日後	2日間程
4	輪島市矢田町 (小峰山幹5)	山水	6.2	464	0.183	-	103	11.5	6.0	2.2	nd	66.0	nd	12.7	6.2	7.0	nd	nd	nd	nd	0.07	30	<0.5	<0.25	11.0	白色	-	-
5	輪島市矢田町 (御神事の水)	-	6.3	354	0.240	-	28	12.0	4.0	1.8	nd	67.0	1.5	6.7	3.4	15.1	0.2	nd	0.2	nd	0.23	28	<0.5	<0.25	11.0	-	-	-
6	輪島市矢田町 (不動ヶ瀬)	-	7.0	347	0.297	-	113	7.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	輪島市矢田町 (T宅)	地下水	6.3	308	-	-	-	8.8	nd	2.1	9.0	41.4	2.7	nd	1.6	6.9	0.7	0.4	35.2	nd	0.33	59	0.58	<0.25	5.2	-	-	-
8	輪島市鳳至町 (H酒造)	山水	8.1	374	0.356	-	97	7.5	40.9	2.7	nd	44.4	nd	nd	3.8	8.2	nd	nd	nd	nd	0.16	49	<0.5	0.4	6.0	灰色	地震後	約1週間
9	輪島市山本町 (T宅)	井戸水(12~15m)	6.5	477	0.137	-	98	8.8	5.9	2.1	1.0	81.0	nd	nd	1.1	8.3	nd	nd	0.6	nd	<0.05	22	1.5	<0.25	3.8	無色透明	地震前後で変化なし	-
10	輪島市山本町 (Y宅前)	農業用水	7.2	500	0.163	9.5	100	9.0	nd	1.9	7.4	80.9	nd	nd	nd	8.5	nd	nd	1.4	nd	0.14	21	0.7	<0.25	5.6	茶色	地震の1時間後	-
11	輪島市大沢町 (T屋旅館)	山の湧き水	6.9	494	0.198	22.3	193	6.5	15.9	8.4	6.6	57.5	nd	nd	0.7	10.3	nd	nd	0.8	nd	0.11	35	5.2	<0.25	7.7	白色	地震後	5日間程
12	輪島市小伊勢町 (S宅)	山の湧き水	6.4	494	0.213	10.9	101	9.3	5.9	1.9	nd	71.2	nd	nd	4.7	16.1	nd	nd	0.2	nd	0.23	29	3.5	<0.25	6.8	茶色	地震後	2日間程
13	輪島市稲屋町 (稲屋の水)	山の湧き水	6.4	587	0.224	9.0	85	10.0	13.3	8.0	nd	54.1	nd	nd	7.4	17.2	nd	nd	nd	nd	0.25	29	1.1	<0.25	4.2	-	-	-
14	輪島市門前町鬼屋 (古和秀水)	山の湧き水	6.4	495	0.185	10.1	96	10.0	13.3	12.1	0.6	53.2	nd	nd	5.6	14.6	nd	nd	0.7	nd	<0.05	28	7.9	<0.25	5.2	-	-	-
15	輪島市門前町千代(じんのびの湯)	温泉	8.2	130	5.2	12.0	145	25.0	12.1	nd	1.9	9.2	nd	15.2	4.5	56.3	nd	nd	nd	0.5	-	-	-	-	-	-	-	-
16	輪島市門前町中野屋(トレンチ調査の地下水)	-	7.9	285	0.735	6.6	78.0	-	26.5	14.8	nd	28.4	nd	nd	1.5	28.8	nd	nd	nd	nd	-	-	-	-	-	-	-	-

nd; not detected

調査日 ①2007.4.3 晴れ(No.1~No.10) ②2007.4.4 雨 (No.11~No.14) ③2007.4.10 晴れ(No.15) ④2007.4.19 晴れ(No.16)

* 2007.4.16 測定 pH 6.5 (石川県保健環境センター 調べ)

第1表 輪島市における生活水の聞き取り調査および水質測定と化学分析：蛍光X線分析とイオンクロマトグラフィーによる化学成分

Table 1 Drinking water measurements and chemical analyses using X-ray fluorescence analysis and ion-chromatography, associated with interviewer’s comments. The drinking water became muddy white, gray, and brown in color for few days to one week after the earthquake in March 25,2007.

13 箇所, 温泉 2 箇所, トレンチ調査の地下水 1 箇所について, 2007 年 4 月 3-4 日, 10 日, 19 日に行った (第 1 図, 第 1 表). さらに, 地震後の地下水の濁りについて聞き取り調査を行った (第 2 図 A) 水質調査は現地で, 井戸水, 湧き水, 山水の pH, 酸化還元電位 (Eh), 電気伝導度 (EC), 溶存酸素量 (DO), 水温の項目について測定を行った. 用いたメーターはそれぞれ, HORIBA カスタニー LAB pH メーター F-24, HORIBA カスタニー ACT pH メーター D-13, HORIBA カスタニー ACT 導電率メーター ES-12, HORIBA ハンディ溶存酸素メーター OM-12 である. なお, 温度補正した DO 値を % で示した.

さらに, 現地で採取した水試料を 500ml ペットボトルに密閉し, 実験室に持ち帰り, 翌日, 蛍光 X 線分析 (XRF) を行った. 水試料を等量, マイラーフィルム上に滴下し, 乾燥後, XRF により含有元素の半定量分析を行った. 日本電子製エネルギー分散型蛍光 X 線分析装置 JSM-3201, Rh-K α 線源を用い, 加速電圧 30kV でファンダメンタルパラメータ (FP) - バルク法により半定量分析を行った. なお, 検出できる元素は Na より重い元素であり, 水素や有機物やガス成分を除いた値である. また, 含有 Cl は管球が Rh でできているためピークが重なり検出できない. そこで, F, Cl, NO₃, PO₄, SO₄ の元素についてはイオンアナライザー IA-300 (東亜 DKK) により主要陰イオン (塩化物イオン, 硝酸イオン, リン酸イオン, 硫酸イオン) の定量分析を行った. なお, サンプルは 0.2 μ m 径のフィルターでろ過したものを用い, 測定カラムは PCI-205 を, 陰イオン標準液には

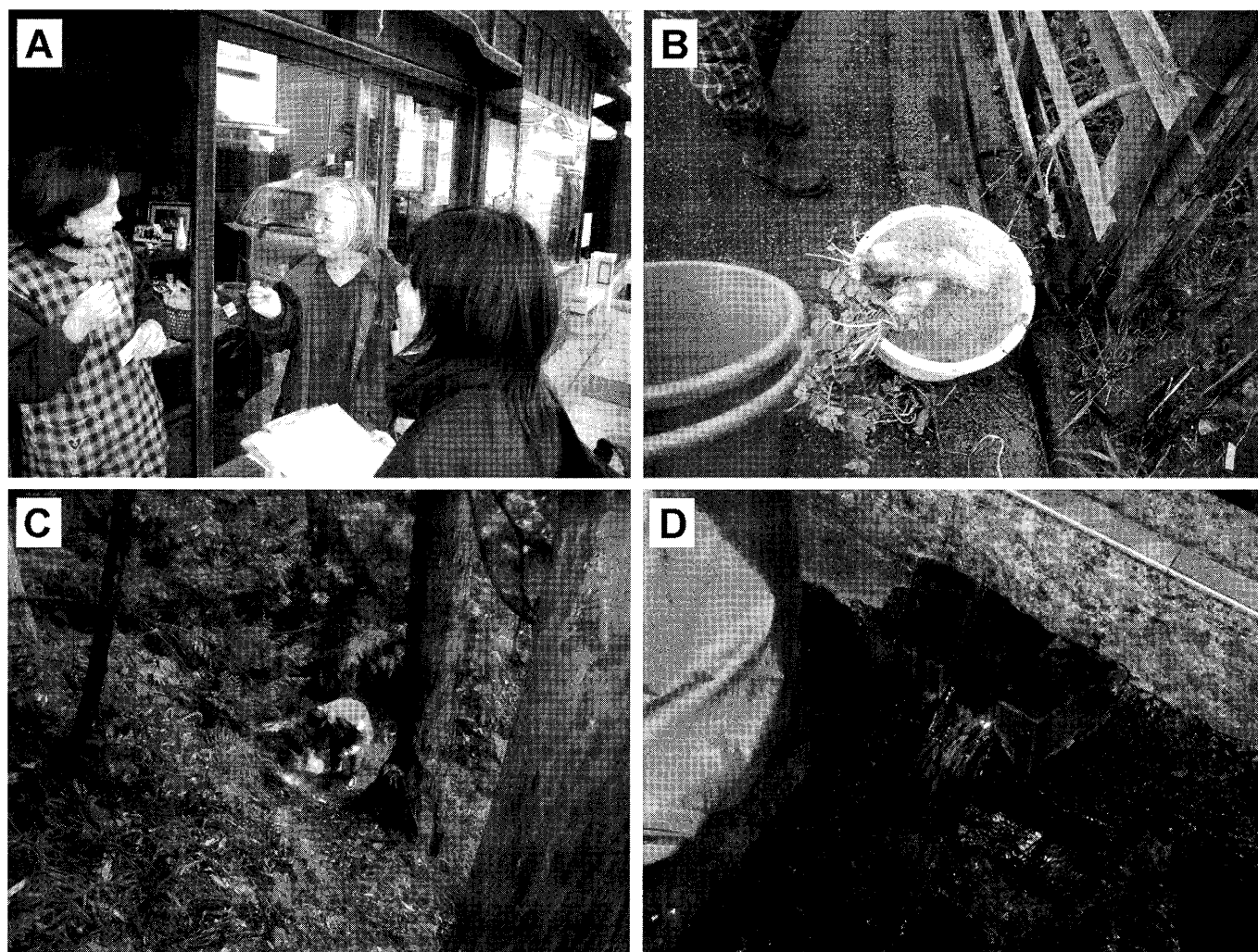
陰イオン 20 μ ループ用 IA-AS1 を用いた. 各イオンの検出限界はフッ化物イオン 0.05mg/L, 塩化物イオン 0.05mg/L, 硝酸イオン 0.05mg/L, リン酸イオン 0.25mg/L, 硫酸イオン 0.1mg/L である. 一方, 金沢大学角間キャンパス理学部棟前にある深度 150m の井戸の中には約 10 年前から, 地震予知のための 3 種のセンサーが入れられている. 地下水温, 電気伝導度, 地下水位のデータが 10 分毎に記録されるシステムである. この地下水温は非常に安定しており, 12.6-12.9 度であるが, 今回の能登半島地震の発生で変化があったかどうかを検討し, 本特集号 (高橋・田崎 2007) で報告している.

さらに, 飲料水中の懸濁物質や湧き水の出ている地層の岩石, 断層と思われる場所のトレンチ調査地からの地下水中の懸濁物質について, X 線粉末回折分析 (XRD) を行った. X 線粉末回折分析は理学電機社製 RINT1200 および RINT2200 Ultima+ を使用し, 対陰極は Cu (K α) を使用した. 懸濁物質試料の詳細な表面形態観察は走査型電子顕微鏡 (SEM; JEOL-JEM-2000EX) を用いて, 加速電圧 15kV で行った. また, SEM に取り付けられたフィリップス製エネルギー分散型 X 線分析装置 (EDX; Philips-EDAX-PV9800STD) を用いて元素分析を行った.

調査および実験結果

地下水の変化の観測

今回の能登半島地震の発生 2 週間前から地下水温が約 0.5 度上昇し, 地震前日には逆に約 0.5 度低下したことが明らかになった. 電気伝導度と地下水位には変化がなかった. 地下



第2図 輪島市における水質測定と聞き取り調査

Fig.2 Water measurements with interviewer and asked drinking water color after the quake in Wajima city, Ishikawa, Japan.

水温が変化した原因は不明だが、地震の前に地盤の圧力が変化し、暖かい地下水が井戸に流れ込んだ可能性が考えられる。地震の予兆をとらえられたとも考えられるので、過去数年分を解析している。なお、地下水温の変化は当時の金沢の気温やポンプ稼働状況とは連動していなかった。新聞報道によれば、志賀町では水脈が壊れ、地震以降、水量が日ごとに少なくなり、池の水が深いところで約50cmあったのが、地震後30cmになり、浅いところでは干上がってしまったという。また、七尾市の名水「藤瀬の霊泉」が、地震発生1時間後、黄色に濁り、かつ、水量が増加した。さらに、岐阜県飛騨市神岡町の天然温泉施設で、能登半島地震が発生した3月25日以降、源泉の温度が37度から43度に急上昇し、湧出量も33リットルであったのが2倍の63.9リットルに倍増した。

輪島市における生活水（井戸、湧き水、山水）の水質測定
能登半島の生活水は水道の他に井戸水、湧き水、山水を使用している。特に、山間地では山に横穴や縦穴をほり、湧出

した水をホースで各家に引いて生活水にしている村が多く、それを山水と呼んでいる。4月3-4日に輪島市内の13カ所と門前町鬼屋1カ所の生活水について水質測定を現地で行い、かつ、住民にインタビューを行った（第2図、第1表）。地震発生後輪島市の水道が断水したため、近所の井戸水、湧き水、山水を汲みに行った人が多く、いずれも2日から1週間、白色、灰色、茶色の濁りを生じていたと述べており、地域により濁りの色が異なった。4月3-4日では大分澄んで無色透明に戻ったところが多かった。なお、輪島市鳳至町（ふげしまち）の井戸水（12-15m）は地震の前後で変化はなく無色透明であった。

井戸水、湧き水、山水のpHはほとんどが6-7と中性であるが、輪島市の白藤酒造の井戸水（12-15m）は無色透明で地震前後で変化はなくpH 8.1とアルカリ性である。注目すべきことは、輪島市杉平町の井戸水（2m）が地震後2日間はバケツの底が見えないくらい白色に濁り使用できず、この井戸の2006年2月6日の保健所の記録によるとpH6.6であ

ったのが、今回の地震で pH5.9 に変化したことである。この水が酸性側に变化した原因は後で述べるように、XRF とイオンクロマトによる分析結果から SO_4 の増加に由来する。なお、水道法にもとづく水質基準に関する省令によれば、水道水が有すべき性状に関する項目のうち、 pH 値は 5.8 以上 8.6 以下であることとなっているので、pH5.9 は飲料可能な限界値である（真柄 1997）。3 週間後にこの井戸水を再度、石川県保健環境センターで調べてもらったところ、 pH は 6.5 と正常値に戻っていたが、 NO_3 、 Ca 、 Mg が地震前と比べ高くなっていた。さらに、穴水町三井の井戸水は従来、中性の水であり飲料可能であったが、今回の地震直後、 pH を測定したところ pH5.4 となり飲料不可となった。この結果、地震直後に濁りを生じた井戸水のいくつかは pH が酸性に変化し、飲料に適さない場合が生じた。なお、名泉古和秀水は地震前が pH6.5、地震後が pH6.4-6.8 と大きな変化はなかった。しかし、後で述べるように Mg 、 NO_3 の値が高かった。名泉古和秀水は石川県が定期的に水質分析を行っており地震前のデータが報告されている（石川県 2005a, b, 2006）（第 2 図 D）。

さらに、一覧表には載せていないが、2007 年 4 月 10 日に今回地震を起こした断層に一番近い門前温泉（通称；じんのびの湯、ラドン温泉）の源泉を調査したところ pH8.5、 E_h 174 mV、 EC 16.36 mS/cm、 DO 7.2 mg/L、83 %、泉温 23°C を示した。15 年前の温泉分析書によれば、 pH 7.4、 EC 22.1 mS/cm、52°C であり、 pH と水温が大きく変化している。かなり古い記録との比較であるが、 pH が 1 も上がっており、今回の地震による変化を示唆している。実際に温泉玄関付近には液状化による噴砂があちこちで認められ、かつ、マンホールが陥没していた。

今回調査した輪島市と門前町の計 14 カ所の酸化還元電位 E_h は 300-500 mV と酸化的であり、電気伝導度 EC は 0.2-0.3 mS/cm と一般的な淡水、溶存酸素 DO は 9-22 mg/L (85-193 %)、水温は 6.5-12.0 度で水深 150 m の金沢大学の井戸の水温 12.6-12.9 度と比べかなり低い値を示した。

調査地点の地質鉱物学

今回、水質測定を行った能登北西部の輪島・門前地区に広く分布する地質は、中新世前期の非海成の砂岩／泥岩であり、その下層にはデイサイト質火砕岩、安山岩質溶岩がある（鮎野 1993）。輪島市には鳳至川と河原田川が南北に流れており、杉平地区は河原田川の支流に、小伊勢町は両方の川の分岐点に当たる（第 1 図 A）。いずれも地下水脈が豊富な地域で、湧き水や山水が得られる条件がそろっている。さらに、石川県鳳至郡誌によれば、明治 27 年に河原田村字杉平に炭酸冷泉が発見され、＜杉平鉱泉＞と呼んだ。また、発見年月は不明であるが町野字大川にも明礬冷泉が発見されている。明礬は酸性火山岩火砕岩の熱水変質の産物として生成され、石英やカオリナイトなどととも産する。試料 3 の杉平町で地震直後に井戸水（深さ 2-4m）が白濁し、 pH が酸性に変化した

原因は周囲の岩石、鉱物、粘土鉱物から SO_4 が溶出したと考えられる。一方、輪島市は＜漆の輪島塗＞で有名なところであるが、漆に混ぜる珪藻土（珪藻泥岩）が市内の“地の粉山”（矢田町）から採取されており、その山腹のあちこちから湧き水が出て、生活水として使われている。試料 4、5（矢田町）も地震直後 3 日間白濁したが、その水中の Si は 66-67 wt% と非常に高く、珪藻や骨針の起源を示唆している（第 6 図）。新潟県にも山水を採取している水源が多くあり、雨の降った直後や融雪期は pH が低くなる傾向があるという（高橋直人氏、私信）。

湧き水周辺の岩石およびトレンチ調査地の地下水中の懸濁物質の X 線粉末回折分析

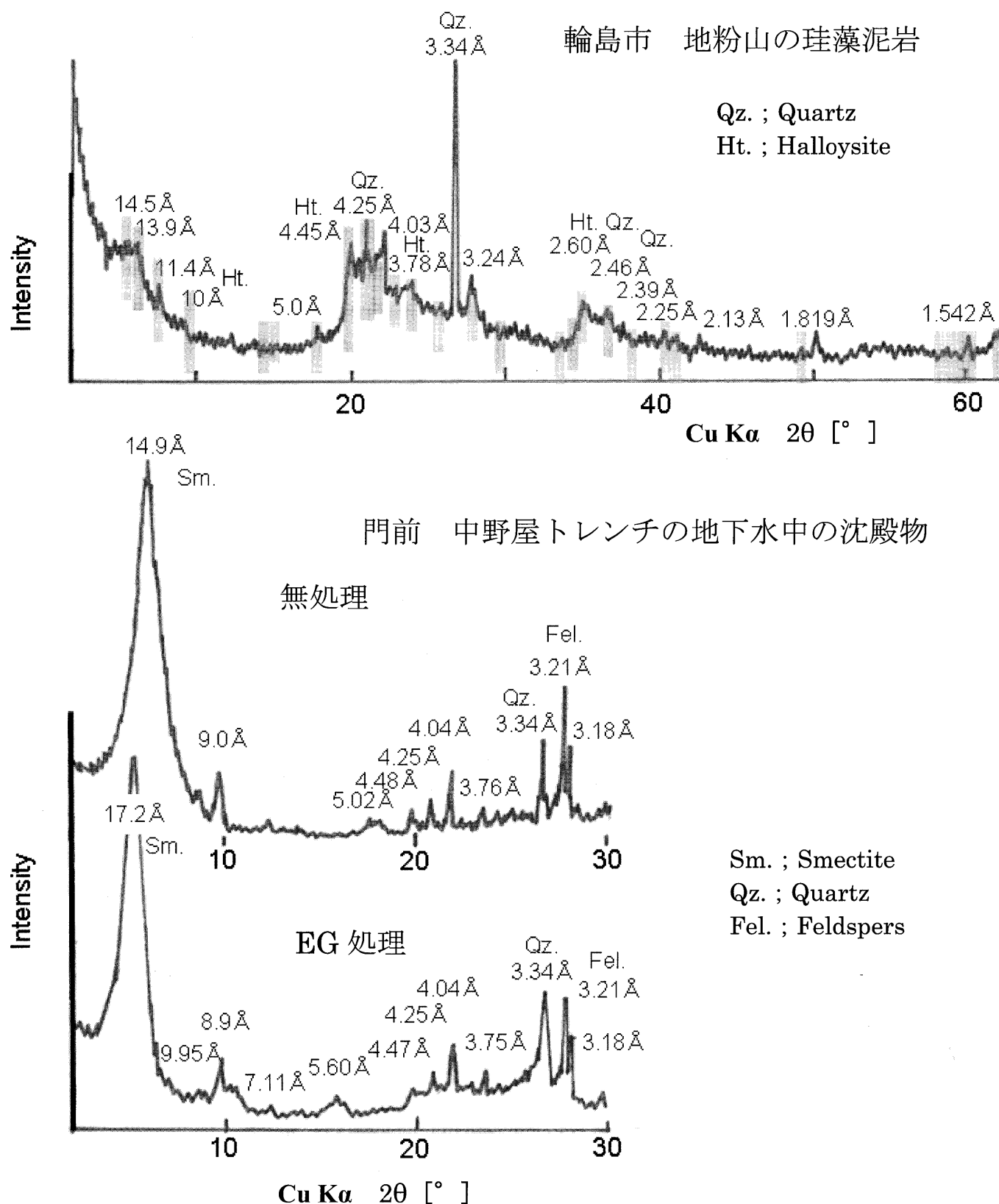
輪島市地の粉山の山腹には湧き水や山水が多く、周囲の住民の生活水として頻繁に使用されている。今回の地震により、この水が白濁したので、その白濁物質の起源を探るため、湧き水周辺の岩石（珪藻泥岩）の XRD を行った（第 3 図上）。その結果、石英（3.34 Å）とハロイサイト（10, 4.45 Å）の反射が認められ、明瞭なイオウ酸化物は含まれていなかった。なお、この珪藻泥岩には珪藻と骨針が多量に含まれており、地下水のフィルターの役割をしていることが示唆される。従って、地震後に白濁し、硫酸イオウが増加したことは、従来とは異なった地下水脈の水が入り込んだ可能性がある。

一方、輪島市門前町中野屋地区における、トレンチ調査地から大量の地下水が出ていたので、採取したところ灰色に濁っていた。その沈殿物について XRD を行った（第 3 図下）。無処理の試料は 14.9 Å に結晶度の強い反射が認められたので、エチレングリコール処理を施したところ 17.2 Å にシフトしたので、スメクタイトと同定した。また、石英（3.34 Å）と長石類（3.21 Å）の弱い反射も認められた。このスメクタイトのシフトの幅が大きいことから膨潤性が高いことが示唆される。

輪島市における生活水（井戸、湧き水、山水）の化学組成

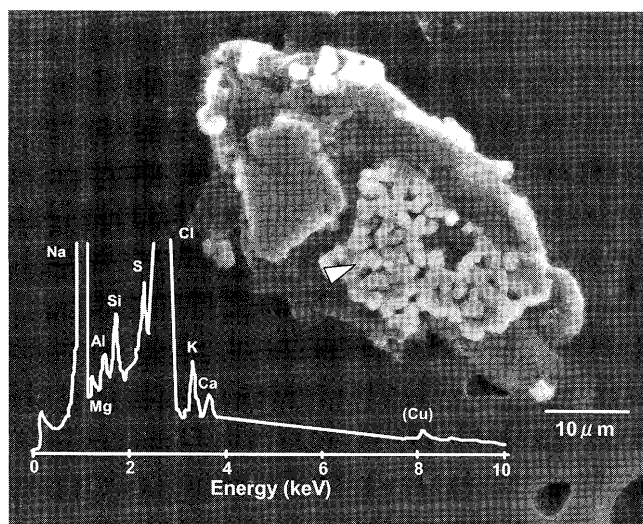
今回水質調査した 13 カ所の井戸水、湧き水、山水の XRF による半定量分析およびイオンクロマトグラフィーによる定量分析結果を第 1 表に示した。輪島市杉平町（試料 3）の井戸水の S が 40.3 wt% と極端に高く、かつ、 pH が 5.9 と酸性である。イオンクロマトグラフィーによる定量分析でも、 SO_4 が 47.0 mg/L と非常に高い。地震の 3 週間後の 2007.4.16 に石川県保健環境センターによる水質試験（行政検査）報告書によると、硝酸態窒素および亜硝酸態窒素が 0.02 mg/L から 0.1 mg/L に、カルシウム、マグネシウム等（硬度）が 49.5 mg/L から 90 mg/L に地震前と比べいずれも増加している。すなわち、地震後 3 週間で pH は元に戻ったが、化学成分がまだ異なっている。また、輪島市矢田町の試料 4、5 の山水はいずれも中性であり Si と S の含有量が比較的高い。

なお、硫酸イオンは最も毒性の低い陰イオンの一つであり



第3図 輪島市矢田町の“地の粉山”からの湧き水付近の岩石と門前中野屋トレンチ調査地の地下水の沈殿物のX線粉末回折分析

Fig.3 X-ray powder diffraction analyses of rocks and sediments collected from Mt. Jinoko, Yatamachi and Nakanoya, Wajima, Ishikawa, Japan.



第4図 輪島市杉平町（試料3）の井戸水に含まれていた微細粒子の走査型電子顕微鏡写真とエネルギー分散分析

Fig.4 Scanning electron microscopy equipped with energy dispersive elemental analysis of granular particles in the drinking water collected from Sugihira-cho, Wajima city, Ishikawa, Japan, showing high NaCl contents with clays and sulfur.

通常水中に存在する濃度では健康への影響はあまり無いと言われているが、通常の水には20-30 mg/Lの硫酸イオンが含まれている。また、硫酸イオンは健康などへの影響が非常に小さいためか上水水質基準には含まれていない。硫酸イオン濃度の増加には二つのメカニズムが挙げられる。1) 今回の地震により、地滑りや崩壊にともない地下の水道が変化する事で、これまで流入していなかった硫酸酸性の地下水が新たに混合した。2) 泥岩中に通常含まれる硫化鉄（XRD分析から認められなかったことから、微量もしくは低結晶性で存在していることが推測される）が、地震にともなう岩石の破碎により水中に懸濁し酸化溶解反応をこうむった。いずれの場合も水のpHは酸性となり、飲料水に適さない生活水をもたらす結果となったことが推測される。

濁りの成分の電子顕微鏡および光学顕微鏡観察

採取試料3, 7, 12について、走査型電子顕微鏡（SEM）観察とエネルギー分散分析（EDX）を行った結果、水中には数10ミクロンの微細な粒子が多く認められた。水の試料は蒸発乾固させたものを試料台に載せて観察したので、いずれの試料にもハライト（塩NaCl）の2-3ミクロンの立方体の結晶が多く認められた（第4図）。特に、試料7, 12は塩素の含有量が多いのが特徴であり、蛍光X線分析およびイオンクロマトグラフィーの結果ともよく一致している。また、AlとSiを主成分とし、少量のMg, K, Ca, Feを含む粘土鉱物の微細粒子も多く認められる。さらに、S, SO_4 成分が非常に高い試料3はSEM-EDXにより多量のNa, Clの他、少量のMg, Al, Si, K, Caが認められた。なお、(Cu)の

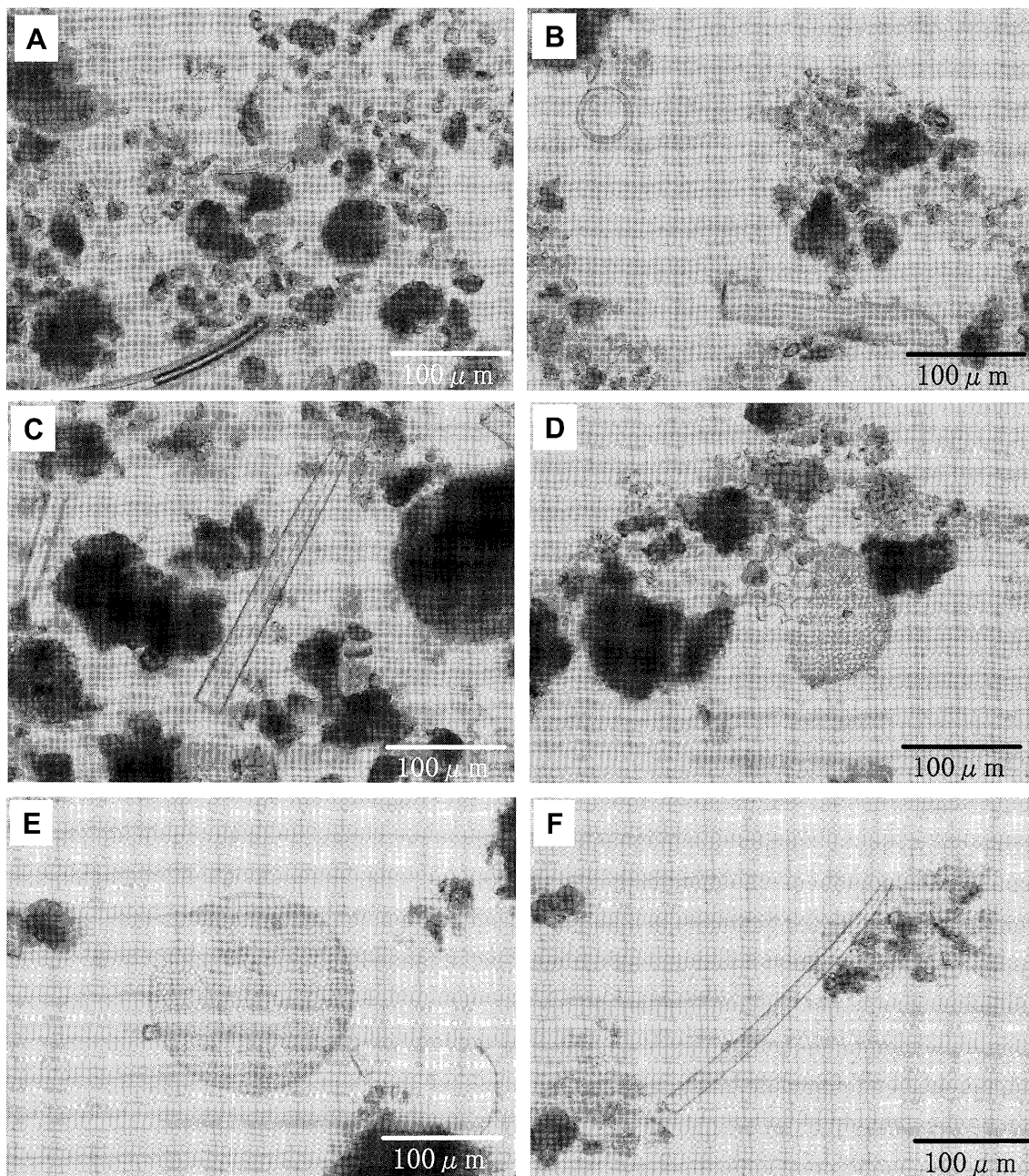
ピークは試料台の組成である（第4図）。形態と化学組成から、試料3の水に含まれる微細な粒子は、自形をした長石の一部が粘土化し、その表面にイオウ酸化物と塩の結晶が付着していると考えられる。このイオウの存在はXRF分析とイオンクロマトグラフィーによる結果と一致する。

一方、豊富な地下水が湧出する輪島市の地の珪山の珪藻泥岩を光学顕微鏡と走査型電子顕微鏡で観察した（第5, 6図）。直径100-200ミクロンの円形の珪藻と長さ100-300ミクロン、幅30-50ミクロンの骨針が主成分をなし、それらの表面には微細な粘土粒子が付着している（第5図）。この粘土粒子は、前に述べたX線粉末回折分析によれば低結晶性のハロイサイトである。同じ試料の走査型電子顕微鏡写真は自形をした長石類（Kのピークが顕著なのでカリ長石と考えられる）の表面に粘土鉱物の微細粒子、珪藻の遺骸、骨針が多数付着している様子を示している（第6図A）。微細な粒子の塊はAlとSiの比がほぼ1:1を示すのでハロイサイトである（第6図B-a）。一方、骨針はほぼ純粋なSiの化学組成を示した（第6図B-b）。地震直後に白濁した山水には硫酸イオンが多量に含まれていたが、この珪藻泥岩中にはイオウ成分を持つ鉱物は認められなかった。従って、白濁の起源物質は地下水脈の異なる場所から流入したことを示唆している。また、昔から地の粉山の湧き水が飲料水として使用されて来た理由は、珪藻によるフィルター効果と骨針による珪酸体の自浄効果に由来すると考えられる。一方、漆器の表面に漆と混合して塗布されるこの地の粉は珪藻と骨針の成分である珪酸であるため、酸、アルカリ、熱に強い耐久性を保持している。

生活水中の細菌検査について

本地震から3日後の3月28日から予防医学協会が無料で、水質検査を実施していることが明らかになった。しかし、4月9日に住民が飲料水に不安をおぼえ、水質検査を委託しに保健所に出向いた時、始めてこの情報を知らされた。ところが、検査項目は健康に関連する6項目（一般細菌、大腸菌、硝酸性窒素、塩素、硬度、全有機炭素量（TOC））に限られており、pHや SO_4 は検査項目に入っていなかった（真柄1997）。しかし、私たち調査団の勧めで、4月13日に本論文の試料12（小伊勢町の山水）について予防医学協会に試料を持参し、6項目の水質検査を行ったところ、大腸菌が検出され、飲料不可となった。さらに、試料3については一般細菌が170 CFU/mLと基準値の100 CFU/mLを大きく上回っていた（基準値100 CFU/mL以下；CFUとはColony Forming Unit集落形成単位）。なお、この井戸の地震前の値は40 CFU/mLと基準値内であった。

一方、日本名水百泉の一つである古和秀水は数年前から雑菌が混入し、最近塩素滅菌をし、源泉と飲料水とを区別している。石川県保健環境センターの2006年12月の検査によれば、一般細菌8 CFU/mL、大腸菌は陰性であった。しかし、輪島市石休場町の井戸水では490 CFU/mL、門前町道下の井



第5図 輪島市地の粉山の岩石（珪藻泥岩）の光学顕微鏡写真。
珪藻，粘土，骨針が主成分である。

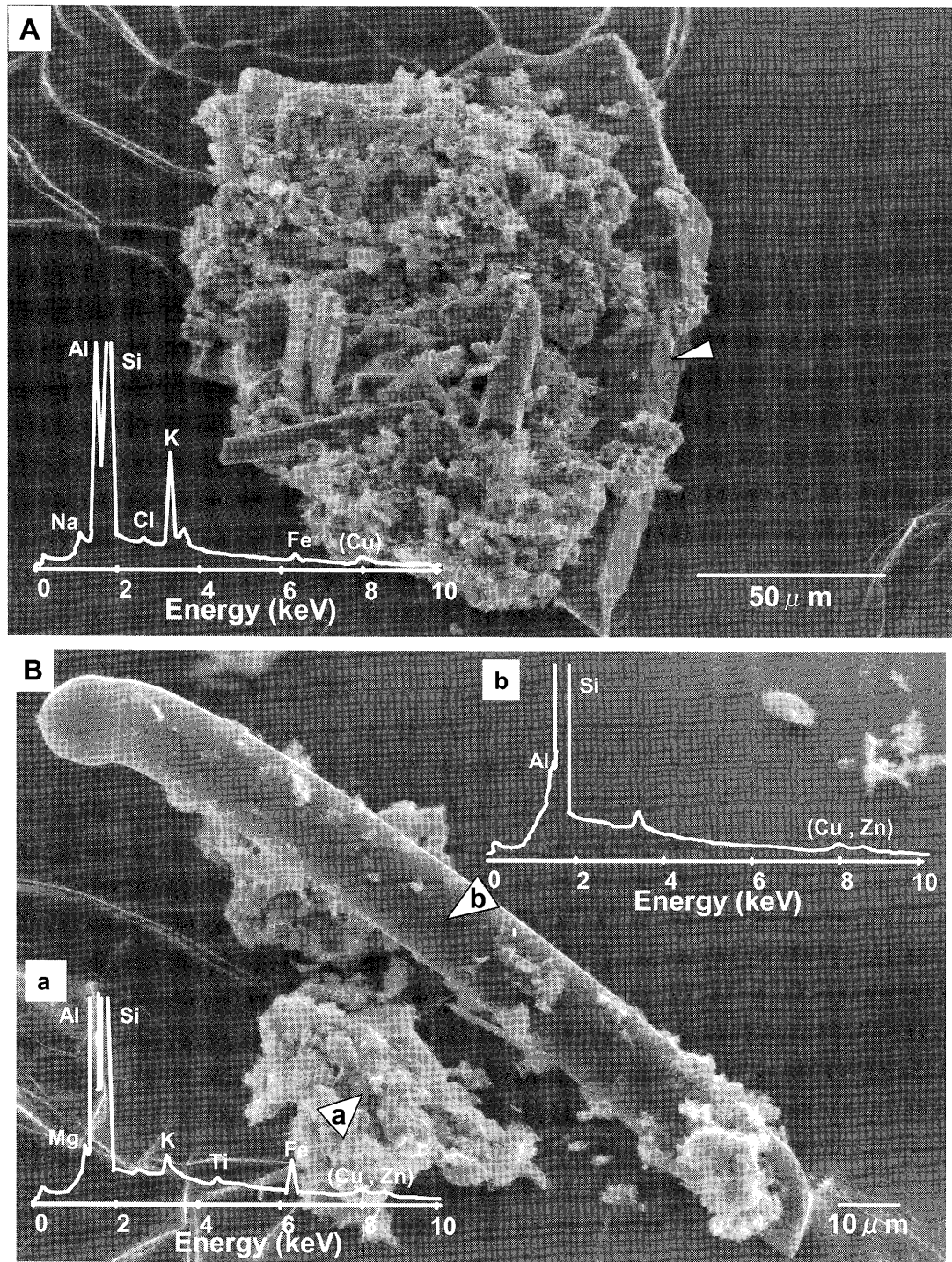
Fig.5 Optical microscopy of rock sample collected from Mt. Jinoko, Wajima, Japan, showing diatom, bone peaces, and clays.

戸水では170CFU/mLといずれも基準値以上の値が出ている。最近，生物による凝集障害の発生率が高まっているが，障害の原因は生物数の増加，pHの上昇，濁度の増加であると考えられる。障害の原因になる藻類は，藍藻類，珪藻類，緑藻類，鞭毛藻類などである（佐藤・真柄 1996）。今回の古和秀水の水質測定は，pHこそ変化しなかったが，Mg（12.1 wt%），NO₃（7.9mg/L）と測定した14カ所の中で一番高い値を示した。昨年2006年の記録によればNO₃は0.1mg/Lで

あり，基準値10mg/Lと比べ非常に低かった。ところが今回の調査で，ほぼ限界値に近い値を示した。しかし，この変化が今回の地震の影響かどうかは不明である。

考 察

石川県，特に輪島地域は良質な地下水，湧き水，温泉の豊富なところであり，帯水層が比較的浅く，容易に得られるため，水道が完備されても井戸水，湧き水，山水を生活水とし



第6図 輪島市地の粉山の岩石（珪藻泥岩）の走査型電子顕微鏡写真とエネルギー分散分析。
カリ長石の上に珪藻，粘土，骨針が付着している。粘土はAl，Siを，珪藻と骨針はSiを主成分とする。

Fig.6 Scanning electron microscopy equipped with energy dispersive X-ray analyses of diatom, bone peaces, and clays, collected from Mt. Jinoko, Wajima, Japan.

で使っている地域が多く存在する（国土交通省土地・水資源局 2001）。逆に，歴史的に見れば，地表水はもとより，崖端泉，れっか水が露頭している所や掘り井戸による自由地下水くみ上げが比較的容易な海岸沖積地に集落が形成された（田崎・

碓山 1999）。従って，これらの地下水は人為的，自然災害的に変化し易いことが知られている。なお，海水との干渉関係は塩化物イオン濃度を測定することによって知ることができる（米田 1984）。

災害時における地下水の不安定性

地下水は海水からうける影響のほか、帯水層やその周辺の地質構造、土壌の環境によっても化学成分に微妙な変化を生じる。しかし、災害時に地下水調査をするのは困難であり、かつ、従来の災害時の地下水調査のデータは非常に少ない。また、井戸などの生活水の水質検査を定期的に行っている家庭はほとんどなく、地震災害の前後で比較するデータにも欠けている。災害時に汚染されたり、水質が変化したり、断水した場合、早急に住民のために安全な生活水を確保しなければならない。表層汚染調査は平面的な広がりを確認する最も基本的な調査であり、有害物質が地下に浸透した場合も特定できる。測定結果を地図に落とし有害物質の地下浸透箇所、移動経路、広がりを見定めることができる調査が必要である。そのとき測定地点が多いほど精度が上がる (Kamigaito and Uesuna 1999; Ikemoto 1999; Nagasaka 1999)。米田 (1984) による輪島市河原田川の湾曲点北側におけるボーリング柱状図は、本研究地点の杉平町 (試料 2, 3) の 2-4m の井戸の円礫層 (玉石 I) に相当し、山本町 (試料 9) の 12-15m の井戸は細砂 II に相当する。この地点の塩化物イオン濃度は 21-25 mg/L であり、鳳至川と河原田川に挟まれる小伊勢町 (試料 12)、稲屋町 (試料 13) の塩化物イオン濃度 29 mg/L より低い値を示している。さらに、海側の矢田町や鳳至町 (試料 7, 8) は塩化物イオン濃度 49-59 mg/L と非常に高い値を示した。このことは海岸沖積地の堆積年代をはじめとし、河川の流の変化や輪島市街地の土地変遷を示していると考えられる。

液状化による地下水の変化

今回の地震時に海岸近くや埋め立て地において、液状化が生じた。石川県七尾市や富山県水見市をはじめとし、輪島市門前町でも小規模の液状化が起こっている。試料 2, 3 のように 2-4m の深さの井戸では濁りが生じたが、試料 9 のように 12-15m の比較的深い井戸は地震の前後でも変化が無く、濁りを生じていない。その水質についても SO_4 (3.8mg/L) と Cl (22mg/L) が 14 カ所が一番低い値であった。すなわち、今回の XRF, SEM-EDX, イオンクロマトグラフィーによる分析結果から、井戸水、湧き水、山水の中に NaCl , Cl が多く検出されたのは海水が地下水に侵入し地下水の塩水化が起こった可能性がある。また、塩水化は現在の海水によるものばかりでなく、化石塩水によっても、引き起こされる場合もある (真柄 1997)。今回の断層に一番近い門前温泉 (じんのびの湯) の pH が 7.4 から 8.5 に変化したのは地震による塩水化が起こっている可能性がある。この温泉水の XRF 分析結果は Na (12.1wt%), Al (1.9 wt%), Si (9.3wt%), S (15.1 wt%), K (4.5wt%), Ca (56.3 wt%), Br (0.5wt%), Sr (0.2 wt%) であり、イオウ成分が顕著である。

行政への提言

石川県では毎年、河川水や主な地下水の定点観測を行って

おり、その変化を記録している。しかし、観測 1 年後にしか住民に公開されておらず、災害時に緊急に知ることは不可能である (石川県 2005a, b, 2006)。災害により水道が 1-2 週間も断水すると、身近な井戸水、湧き水、山水に頼るようになるのは必然である。今回、2007 年 3 月 25 日 9:41 に起こった能登半島地震で変化した生活水をいち早く知り、飲料不可の指摘することができた。地震直後断水した地区も多く、かつ、普段から使用していた井戸水、湧き水、山水が白色、灰色、茶色に濁ったため住民は非常に不安を覚えていた。また、井戸水が濁れ、反対に増水した地域もあったが、今回の現地調査で、白濁した 2-5m の浅い井戸水の pH が酸性に変化し、硫酸イオンが増加したため飲料水に適さないことが明らかになった。また、輪島市の山水や井戸水から、大量の一般細菌や大腸菌が見つかり飲料不可となった。さらに、門前町では地下水に下水が混入した時期があった。今回、本地震から 3 日後には予防医学協会が無料で、大腸菌を始めとする 6 項目の水質検査を実施したが、情報は住民に行き渡らず、また、この 6 項目の中には pH は含まれていなかった。pH は簡単に測定できるので、濁った生活水については、是非検査項目に入れるべきである。特に、砂岩、泥岩、礫岩地帯の地下水は地下内部の変動により容易に水質が変化するので、普段から井戸、湧き水、山水の地図を作成し、災害時にタンクやペットボトルの水を供給するだけでなく、生活水についても迅速な指導と指示を行う必要がある。

避難所における生活水

今回の地震で大きな被害がでた輪島市門前町では、災害直後、災害救助法に基づいて、県や市が支援した避難所とは別に、住民が独自に運営する避難所もあった。それは山間部の俊兼地区の 19 戸であり、住民の互助と自給自足で一週間切り抜けた。そこでは昔から使用している山の湧き水を飲み、水洗トイレに谷川の水を使った。余震が減り、水道が復旧した 3 月 31 日夕方、住民は自宅に戻ったが、今回の地震による濁りの報告はないものの、行政支援の死角になりかねないケースである。＜昔から飲んでる湧き水＞だから大丈夫ではなく、地震時には湧き水も変化することを指導する必要がある。

避難所生活では、特に手洗いの水、仮設トイレの水の使用が不便であり、水道が復旧すれば家に帰りたいという人が多かった。そのため、高齢者ばかりではなく避難所で生活している多くの人々は水分摂取を我慢し、トイレの使用を控えていた。仮設トイレの前に立って観察すると、給水の手洗い場は屋外に 1 ヶ所設置されているだけであり、屋内の廊下に設置されたポータブルトイレを利用する人は、手洗いをしない人が殆どであった。設置してある噴霧状の消毒液も活用されていなかった。一方、屋外のトイレを利用する人も、給水の蛇口を開け、指先だけに水をかけて洗ったにすぎなかった。被災前は、手洗いは両手をこすり流水できれいに洗い流して

いたはずであるが、ここでは貴重な給水に対し「もったいない」と気遣っている様子が見られた。なお、トイレは、毎日、高校生やボランティアの方が清掃を担当したが、大勢の人が利用するために直ちに汚染され、匂いもあり、気持ちよく使用できる状況ではなかった。

医療班は、診療活動や集団生活の基本である感染予防とその対策、病気の蔓延の防止、環境衛生にも配慮し、持病の悪化や合併症の予防とケア、被災者特有の疾病や精神衛生の相談とその対応、生活不活発病の予防に取り組んだ。この避難所では、4月1日の嘔吐・下痢を起こした人は5人、4月2日の午前中だけで既に8人を越えたため、素早くノロウィルスの発症の危険性を察知し、午後5時の定期報告を待たずに、M町の対策本部に報告した。すると県の感染対策の専門家が直ちに避難所を訪れ、便や吐物の培養、消毒、感染対策の指示が出された。検査結果によりノロウィルスであることが判明し、早期の発見により避難所における大規模な感染を防ぐことができた。

今回の地震による井戸水の水質変化や汚染、水道が復旧しない避難所などでの生活水は病気の発生や蔓延と直結している。人々が健康で安心して暮らしていける安全な生活水を供給し、人間と地域の復興に向けて、環境科学を学ぶ立場から、迅速な行政への提言が重要であると考えている。

まとめ

能登半島地震発生時から水道があちこちで断水したため、身近な井戸水、湧き水、山水が被害地で使用された。ところが、それらの生活水は白色、灰色、茶色に濁っていた。4月3-4日に輪島、門前一带の16ヶ所の生活水や温泉水を現地において水質測定を行った結果、地震前に中性であった井戸水が地震後には酸性やアルカリ性に変化した地下水があった。採水した試料を実験室に持ち帰り化学分析した結果、酸性に変化した水は硫酸イオンが多く認められ、アルカリ性に変化した水は塩化ナトリウムが増加していた。水質検査により変化が認められた水を医療予防協会や保健所に持ち込み、6項目について検査した結果、一般細菌や大腸菌が多量に認められ、飲料不可となった井戸水や山水が2ヶ所あった。一方、避難所における生活水のありかたもノロウィルスによる病気の発生や蔓延と直結しているため、行政による迅速な

指導と対策が必要であった。

謝辞 本調査を実施するにあたり、輪島地域の井戸水、湧き水、山水を使用している住民宅に案内し、情報を提供して下さった元上野台中学校教諭の新宅睦子氏に感謝申し上げます。また、金沢大学角間キャンパスの井戸のデータ解析をして下さった日さく株式会社の高橋直人博士、現地調査およびイオンクロマト分析でお世話になった金沢大学理学部地球学科の森谷 匡、永田貴洋両氏にお礼申し上げる。また、避難所における生活水の実状をご指導いただいた石川県看護大学の研究員、鈴木祐恵氏にお礼申し上げます。

文 献

- Ikemoto R (1999) Effects of sewerage system on water quality and development of effluent water quality from sewage treatment plant. Proceeding of the International Symposium Kanazawa, 292-300.
- 石川県 (2005a) 平成 16 年度公共用水域及び地下水の水質測定結果報告書 (資料編). 238p.
- 石川県 (2005b) 平成 16 年度公共用水域及び地下水の水質測定結果報告書. 127p.
- 石川県 (2006) 平成 17 年度公共用水域及び地下水の水質測定結果報告書. 129p.
- 粕野義夫 (1993) 新版・石川県地質図 (縮尺 10 万分の 1) 石川県地質誌, 石川県北陸地質研究所.
- Kamigaito J and Uesuna S (1999) The concept of geo-pollution investigation. Proceeding of the International Symposium Kanazawa, 308-316.
- 国土交通省土地・水資源局 (2001) 地下水マップ付属説明書 (石川地域) 194p.
- 真柄泰基 (1997) 水道の水質調査法. 水道水研究会編著, 技報堂出版, 東京, 351p.
- Nagasaka M (1999) Distribution of the aquatic macrophyte in irrigation canals of Kanazawa city. Proceeding of the International Symposium Kanazawa, 239-244.
- 佐藤敦久・真柄泰基 (1996) 上水道における藻類障害; 安全で良質な水道水を求めて. 社団法人日本水道協会, 技報堂出版, 155p.
- 田崎和江・碓山 洋 (1999) Proceeding of the International Symposium Kanazawa 1999 地球 - 水 - 人間. 金沢大学創立 50 周年記念国際シンポジウム, 356p.
- 高橋直人・田崎和江 (2007) 能登半島地震と角間 2 号井戸の地下水について. 地球科学, 61: 293-300.
- 米田昭二郎 (1984) 輪島の地下水覚え書き; 汀線移動と水位変化. 日本海域研究所報告, 16: 15-27.

田崎和江・馬場奈緒子・佐藤和也・奥野正幸・福士圭介. 2007. 能登半島地震被害地の生活水（井戸水，湧き水，山水）の調査結果：地震災害時の迅速な指導と指示. 地球科学, 61, 281-292.

TAZAKI Kazue, BABA Naoko, SATOH Kazuya, OKUNO Masayuki and FUKUSHI Keisuke. 2007. Lifeline of Drinking Water while the Noto Hanto Earthquake in 2007 Struck the Noto Peninsula, Ishikawa Japan: What do we do quickly? Earth Science (Chikyū Kagaku), 61, 281-292.

要 旨

2007年3月25日9時41分にマグニチュード6.9の地震が石川県能登半島を襲った。その折、水道が断水し、住民は周囲の井戸水、湧き水、山水を生活水として使用した。その水は地震直後から白色、灰色、茶色に濁り、2-3日から2週間続いた。本研究は被害地の住民からの聞き取り調査、現地における水質検査、採水試料を実験室に持ち帰り、蛍光X線分析、イオンクロマト分析、走査型電子顕微鏡観察を行った。地震前は中性であった井戸水が地震後にpH5.4-5.9と酸性になり、かつ、 SO_4 が非常に高くなり飲料不可となった。一方、中性であった温泉水がpH8とアルカリ性に変化し、NaCl含有量が高くなり、海水の浸入を示唆した。また、飲料水の6項目についての検査を行政に依頼したところ、2箇所の水から基準以上の一般細菌と大腸菌が見つかり飲料不可となった。なお、この検査項目にはpHが含まれていないので、今後、災害時にはいち早く生活水についてpHや集落形成単位（CFU）を含めた水質検査が必要である。さらに、避難所における生活水はノロウイルスなどによる病気と直結しているため、行政による迅速な措置と指導が必要である。