

# 殿上山断層は鯖江断層と交差するか ～炭酸水素イオンをトレーサーとした断層のルート追跡～

福井県立武生高等学校

【Abstract】We investigated the relationship between the Denjozan fault and the Sabae fault located in the Reihoku region of Fukui Prefecture, by using bicarbonate ions as tracers. As a result, we found out that the Denjozan fault extends move westward from the route shown on the active fault map by the Geospatial Information Authority of Japan. We also found The Denjozan Fault reaches just before the Sabae fault, but does not intersect it. This means the Sabae fault is more dominant than Denjozan Fault. We could not clarify the position of the Denjozan fault in this research, so we will try to elucidate it in the future.

## 1 はじめに

福井県嶺北地方には、活断層が何本も分布している。鯖江断層はその1つで、福井市南部から越前市にかけて南北方向に伸びる逆断層である。この断層の最新活動は500～3000年前と考えられており、その後の活動記録はなく、断層が存在すると考えられる一帯は、長年地震の発生が確認されていない地震の空白域として注目されている(岡本ほか, 2010)(図1)。また、東西方向に伸びる活断層も存在し、福井市南東部から鯖江市東部にかけて伸びる殿上山断層はその1つで、横ずれ成分をもつ逆断層である。岡本拓夫らは、この殿上山断層を挟んで、福井平野東縁断層帯の走向と根尾谷断層系の走向が変化することに注目し、殿上山断層が地震活動の境界として機能しているのではないかと指摘している(岡本ほか, 2008)(図2)。実際、1948年の福井地震や、1891年の濃尾地震では、殿上山断層を境界に、それより先へは断層破壊がお互いに進行していないことがわかっている(岡本ほか, 2008)。この殿上山断層を西側に延長すると、鯖江断層を中心とした地震の空白域に達し、岡本らは、殿上山断層が鯖江市の中道院(図3)付近で鯖江断層と交差しているのではないかと推測している。なお、中道院は、鯖江断層上にあり、2018年11月2日に発生した、紀伊水道を震源とする地震の際に、池の割れ目から水が湧き出すようになり(図4)注目されている場所である。

断層の交差は、研究者が関心を持ちながら、詳細な研究はほとんどなく、その現場がどのようなかは重要な課題の1つである。殿上山断層と鯖江断層の関係に関しても、これまで調査されたことはなく、詳しいことは全くわかっていない。ただ、地震の空白域を伴う鯖江断層の防災対策を考える上で、他の活断層との関係は、共役関係や連動を考慮すると、極めて重要な情報となる。そこで、殿上山断層と鯖江断層の関係を探り、交差の有無を確かめ、研究過程で得られた情報を公開することで、地域住民の防災意識を高めるとともに、鯖江断層周辺の防災対策に協力したいと考え、この研究を始めた。

## 2 研究方法

断層のルートを追跡する際に、トレーサーという物質を用いることがある。トレーサーには個々の断層を識別できる物質が選ばれるため、断層によって異なる場合がある。武生高校の先行研究で調査した鯖江断層では、湧水や地下水中のフッ化物イオンを利用し、高校生にもできる方法で断層のルートを解明した(石塚ほか, 2020; 大友ほか, 2021; 安達ほか, 2022)。

そこで、まず、殿上山断層のトレーサーとして利用できる物質を調べた。注目したのは炭酸泉である。炭酸泉は、地下のマグマから発生する二酸化炭素が、高濃度で地下水に溶け込んだもので、天然のラムネともよばれている。鯖江市や越前市の東部には、炭酸泉が湧き出しているところがある(図5)。この炭酸泉は、殿上山断層に伴って湧き出していると考えられている。そこで、この炭酸泉に含まれるイオンを、中道院の池の湧き水と比較してみた。なお、炭酸水素イオン濃度は、環境省自然環境局(2014)に従い、ブロモクレゾールグリーン/メチルレッド・エタノール溶液を試薬とし、0.1mol/L塩酸を用いた中和滴定で分析を行った。また、その他のイオン濃度は、イオンクロマトグラフィーで分析した。その結果を表1に示す。なお、武生高校の地下水は、日野川の伏流水を起源としており、鯖江断層周辺の地下に広く分布するため、比較の基準とした。これを見ると、鯖江断層上にある中道院の湧き水には、炭酸泉と比べてフッ化物イオンが多く含まれていることがわかる。一方、殿上山断層に伴う炭酸泉には、フッ化物イオンがほとんど含まれず、高濃度の炭酸水素イオンが含まれており、中道院の湧き水とは明らかに水質が異なっていることがわかる。そこで、私たちは、炭酸水素イオンが殿上山断層のトレーサーとして利用できるのではないかと考えた。理由は次のとおりである。地下に断層が存在すると、地下の圧力で、地下深くに存在する地下水が、断層破砕帯を通過して上昇してくる。このとき、地下深くの水が炭酸水素イオンを多く含んでいると、その水が地表近くに上昇してくる。また、断層破砕帯の中を、横方向へも広がっていると考えられる(図6)。その結果、断層破砕帯の近くでは、周囲と比べて湧き水や地下水に含まれる炭酸水素イオンの濃度が高くなると考えられる。断層は、地下で列状につなが

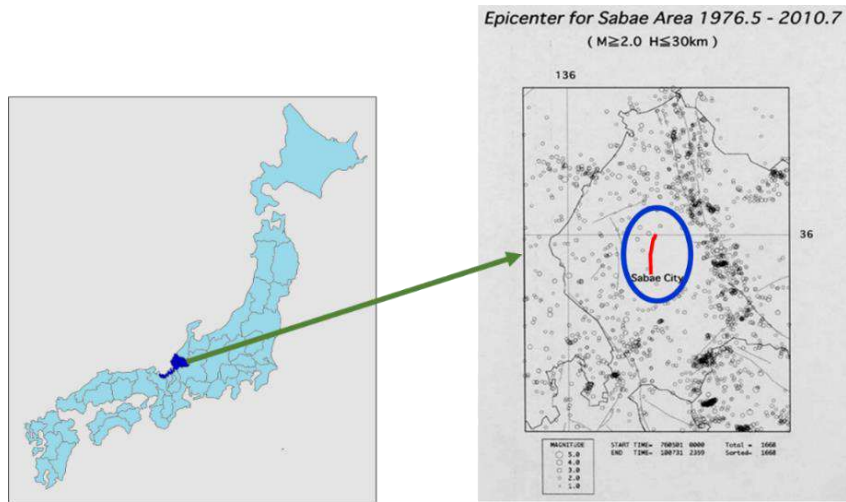


図 1. 鯖江断層周辺の地震の空白域 (岡本ほか, 2010より引用)

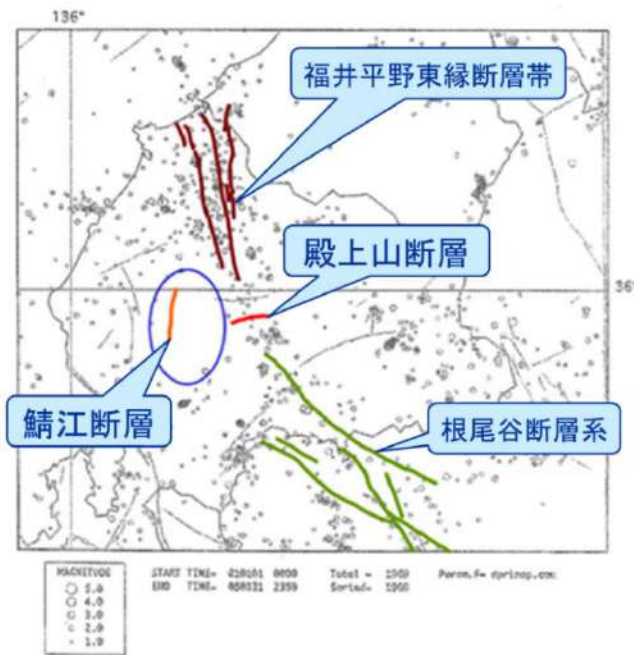


Fig. 6 Distribution of earthquakes with  $M \geq 1.0$ ,  $h \leq 30\text{km}$  after Okamoto et al., 2007

図 2. 福井県嶺北地方の活断層 (岡本ほか, 2008より引用)



図 3. 中道院 (福井県鯖江市)



図 4. 池の割れ目から湧き出す水 (中道院)



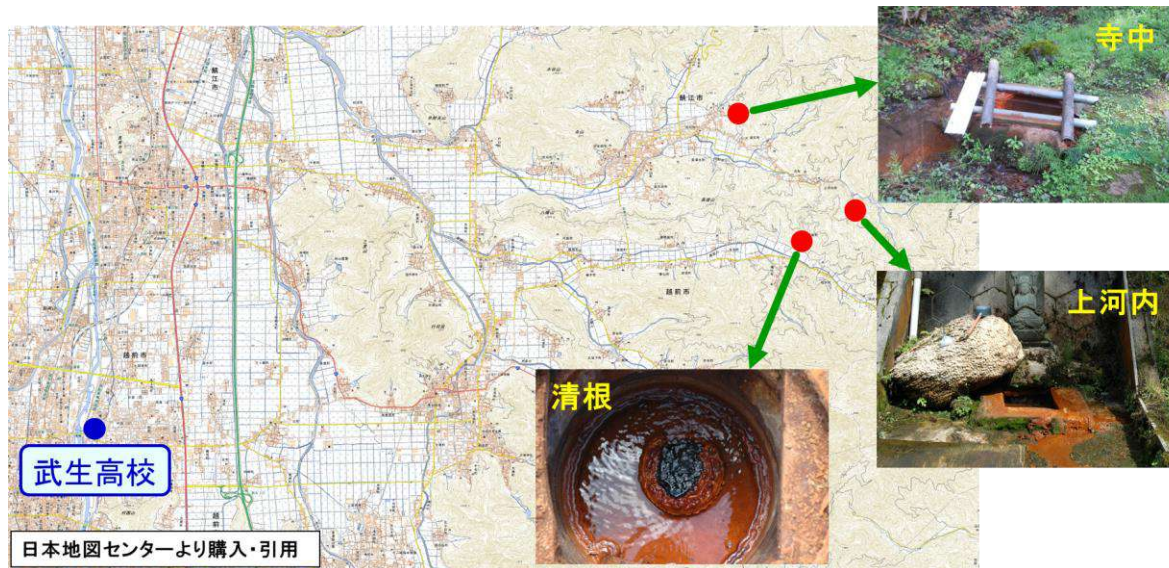


図5. 鯖江市および越前市東部の炭酸泉湧水地

表1. 炭酸泉と中道院の湧き水のイオン濃度比較 (単位: mg/L)

採水地		F <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
炭酸泉	上河内	—	多(測定不能)	—	122.07	2977.8
	寺中	—	47.85	—	171.90	1751.3
	清根	0.02	53.00	—	8.38	1587.7
中道院		0.51	14.48	2.16	7.45	81.2
武生高校		0.03	8.30	2.06	7.23	33.6

っているため、炭酸水素イオンを多く含む湧き水や地下水の分布も列状に並ぶと考えられる。この考え方は、本校の先行研究(安達ほか, 2022)によって、フッ化物イオンに関して、鯖江断層で確認されている。さらに、岡田(1979)の内容を応用することで、断層上に厚い沖積層が堆積している地域でも、この考え方が適用できることも確認されている。そこで、私たちは、湧き水や地下水に含まれる炭酸水素イオンやフッ化物イオンなどの濃度を測定し、比較することで、殿上山断層のルートを追跡し、鯖江断層との関係を調査した。なお、イオン濃度は2回ずつ測定し、平均値で求めた。

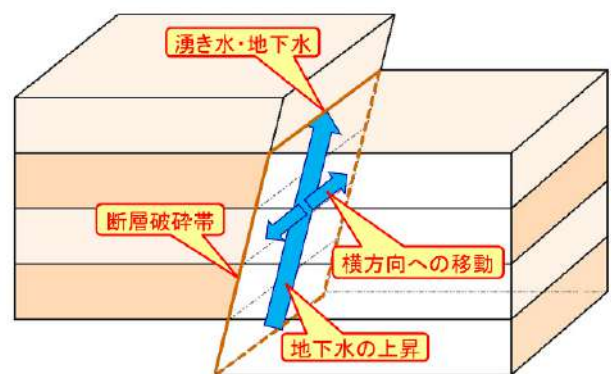


図6. 断層破碎帯を通した地下水の上昇と移動

### 3 結果

本研究では、調査範囲を図7の赤枠で示したように、南北方向は、鯖江市北部から越前市北部まで、東西方向は、国土地理院による活断層図に示されている殿上山断層のルートの西端から日野川付近までとした。表2は、これまでに調査した110ヶ所(図8)の湧き水や地下水のフッ化物イオン濃度と炭酸水素イオン濃度を示したものである。ただし、フッ

化物イオン濃度に関しては、まだ分析が終了していない地点があり、その地点については空欄とした。

この結果のうち、炭酸水素イオンについて、各地点の濃度を図9で示したように5段階に色分けし、地形図上に示した。また、現在は存在しない炭酸泉の湧水地であっても、住民情報で確実に存在したことが判明した地点については、図9に示した記号で地形図上に示した。図10は、110ヶ所の炭酸水素イオン濃度の分布を示したものである。この炭酸水素



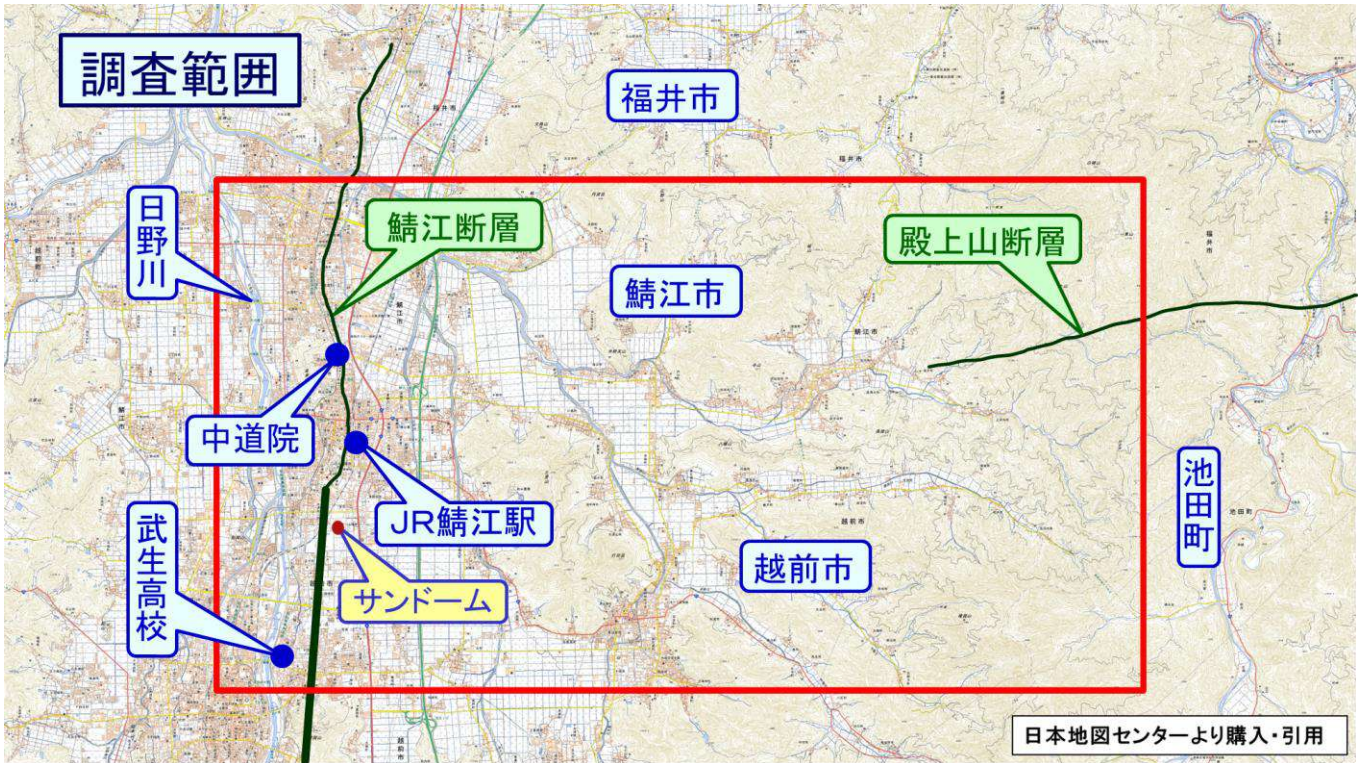


図7. 調査範囲（赤枠の中）

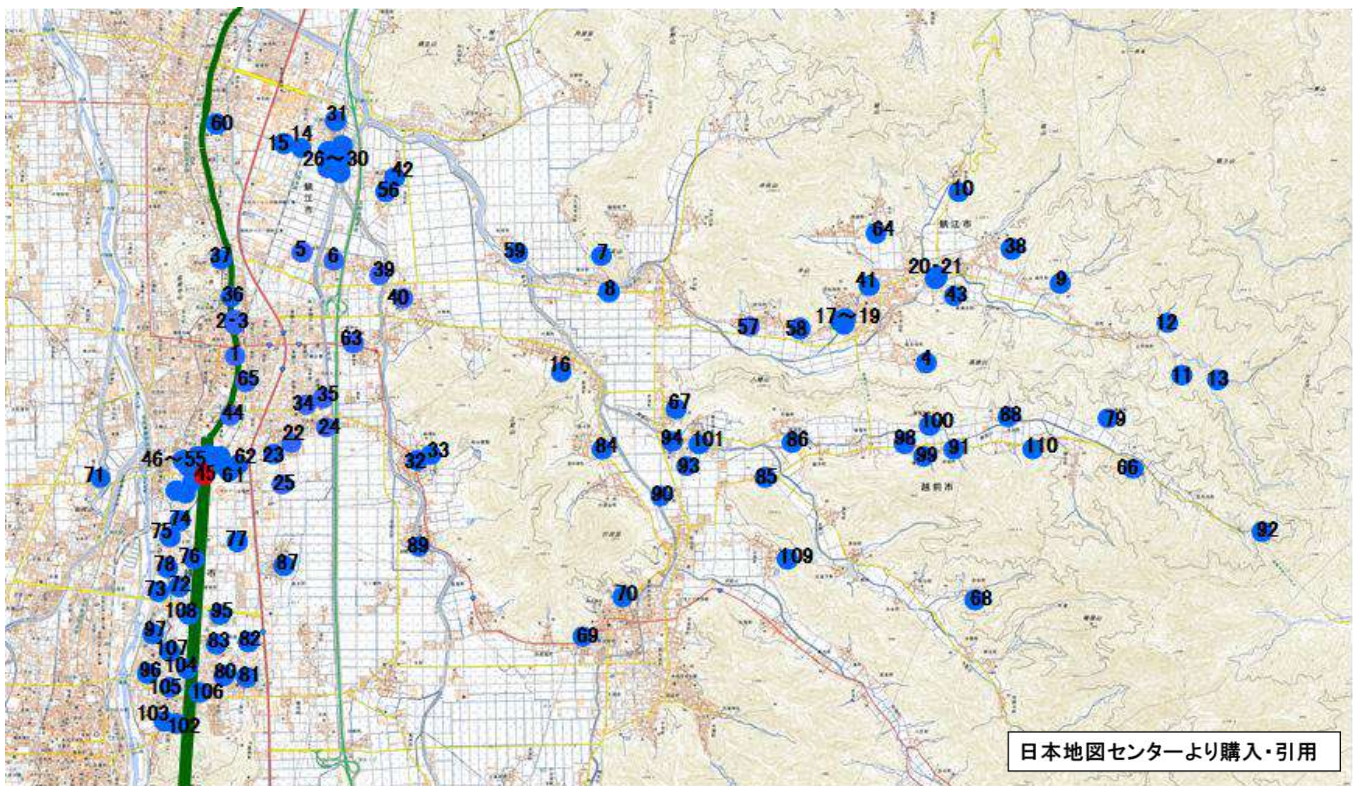


図8. 調査地点

イオンの濃度分布を調べたところ、湧き水や地下水に炭酸水素イオンを多く含む地点が、東西方向に列状に並んだ1本のライン(帯) (図10中に青で示した矢印)を推測することができた。

#### 4 考察

(1) 炭酸水素イオンは殿上山断層のトレーサーとして有効か

鯖江断層のトレーサーとして有効であったフッ化物イオンは、表1を見ると、殿上山断層に伴って湧き出している炭酸泉にはほとんど含まれていないため、殿上山断層のトレーサーとしては不都合で



表2. 各調査地点のイオン濃度測定結果（表中のNoは、図8の各地点の番号に相当）

No	採水地	イオン濃度 (mg/L)		No	採水地	イオン濃度 (mg/L)	
		F-	HCO <sub>3</sub> -			F-	HCO <sub>3</sub> -
1	鯖江市旭町2	0.023	14	56	鯖江市舟枝町	0.051	109.8
2	鯖江市旭町4		9.8	57	鯖江市別司町		31.7
3	鯖江市旭町4	—	15.3	58	鯖江市別司町	0.04	58
4	鯖江市筋生田町	0.024	101.3	59	鯖江市松成町	0.074	440.6
5	鯖江市上河端町		34.8	60	鯖江市水落町4		19.5
6	鯖江市上河端町		34.2	61	鯖江市宮前2		42.1
7	鯖江市落井町(弁財天山)	0.043	45.8	62	鯖江市宮前2	0.03	36.6
8	鯖江市落井町	0.127	168.4	63	鯖江市横越町		37.8
9	鯖江市尾花町	0.033	112.9	64	鯖江市西袋町椿坂		68.3
10	鯖江市金谷町		79.3	65	鯖江市日の出町(JR鯖江駅地下道)		37.2
11	鯖江市上河内町(上河内鉱泉)	—	2977.8	66	越前市相木町	0.026	89.1
12	鯖江市上河内町(三坂坂清水)	0.039	70.8	67	越前市赤坂町(湧水)	0.024	58.6
13	鯖江市上河内町(桃源清水)	0.008	65.9	68	越前市赤谷町(瓜割清水)	0.023	50
14	鯖江市神中町1		50	69	越前市栗田部町(御題目岩の水)	0.001	47.6
15	鯖江市神中町2		35.4	70	越前市栗田部町(皇子ヶ池の水)	0.015	59.2
16	鯖江市川島町	—	4.3	71	越前市家久町	0.027	70.8
17	鯖江市河和田町	0.066	133	72	越前市稲寄町7-32-2	0.023	48.8
18	鯖江市河和田町	0.065	85.4	73	越前市瓜生町	0.059	30.5
19	鯖江市河和田町	0.079	89.7	74	越前市瓜生町(JR北陸線アングラーパス)	0.022	22.4
20	鯖江市北中町	0.047	90.9	75	越前市瓜生町30-2-1	0.025	16.3
21	鯖江市北中町	0.032	90.3	76	越前市瓜生町37-32	0.032	38.6
22	鯖江市五郎丸町		37.8	77	越前市瓜生町40-18	0.024	42.7
23	鯖江市五郎丸町(許佐羅江清水)	0.034	35.4	78	越前市瓜生町52-2-25	0.036	38.6
24	鯖江市定次町		34.2	79	越前市清根町	0.02	1587.7
25	鯖江市定次町		40.3	80	越前市国高1-9-6	0.032	48.3
26	鯖江市下河端町	0.061	96.4	81	越前市国高2-13	0.076	93.7
27	鯖江市下河端町		37.8	82	越前市国高3-10-13	0.032	51.6
28	鯖江市下河端町		34.2	83	越前市国高3-16-6-9	0.051	30.5
29	鯖江市下河端町		50.7	84	越前市国中町	—	502.8
30	鯖江市下河端町		26.9	85	越前市朽飯町	0.014	67.7
31	鯖江市下河端町		54.9	86	越前市高岡町	0.043	137.9
32	鯖江市下新庄町		58.6	87	越前市高木町42-10	0.031	46.3
33	鯖江市下新庄町	0.112	299	88	越前市寺地町	0.076	107.4
34	鯖江市新横江2丁目		42.7	89	越前市中新庄町		12.2
35	鯖江市新横江2丁目		31.7	90	越前市中津山町	—	292.3
36	鯖江市長泉寺町1丁目(お清水)	0.194	62.2	91	越前市波垣町		53.7
37	鯖江市長泉寺町2丁目(中道院)	0.51	81.2	92	越前市西河内町(石堂の水)	0.01	67.1
38	鯖江市寺中町(河和田神社裏)	—	1751.3	93	越前市西庄境町	0.111	268.5
39	鯖江市中野町		25.6	94	越前市西庄境町	0.043	113.5
40	鯖江市中野町		28.1	95	越前市馬上免町5-11-4	0.062	57
41	鯖江市西袋町	0.036	109.2	96	越前市八幡1(武生高校)	0.028	33.6
42	鯖江市橋立町	0.082	96.4	97	越前市八幡2-96-21	0.068	36.6
43	鯖江市東清水町	0.051	175.7	98	越前市春山町		83
44	鯖江市舟津町1丁目(舟津神社)	0.028	21.4	99	越前市春山町		65.3
45	鯖江市舟津町4丁目(JR北陸線地下道)	0.208	648	100	越前市東樫尾町	0.031	91.5
46	鯖江市舟津町4	0.034	41.4	101	越前市東庄境町	0.042	107.4
47	鯖江市舟津町4	0.025	58.7	102	越前市村国1-10-5	0.041	34.6
48	鯖江市舟津町4	0.023	24.4	103	越前市村国2-13-66	0.038	25.4
49	鯖江市舟津町4	0.031	10.9	104	越前市村国3-25-3	0.039	41.4
50	鯖江市舟津町4	0.052	21.1	105	越前市村国3-4-16	0.045	41.4
51	鯖江市舟津町4(畑)	0.029	39.2	106	越前市村国3-64-16	0.038	38.6
52	鯖江市舟津町4	0.036	24.4	107	越前市村国3-30-8	0.042	19.6
53	鯖江市舟津町4	0.025	43.6	108	越前市村国4-2-1-18	0.037	56.3
54	鯖江市舟津町4(畑)	0.052	48.8	109	越前市山室町(白山神社前)	0.02	79.9
55	鯖江市舟津町4	0.022	32.7	110	越前市横住町(榎清水)	0.032	78.7

段階	標示
1000 以上	● (紫)
500 ~ 999	● (赤)
100 ~ 499	● (オレンジ)
50 ~ 99	● (緑)
50 未満	● (青)
過去の炭酸泉の記録	◆ (紫)

(単位: mg/L)

図9. 炭酸水素イオン濃度の段階別標示

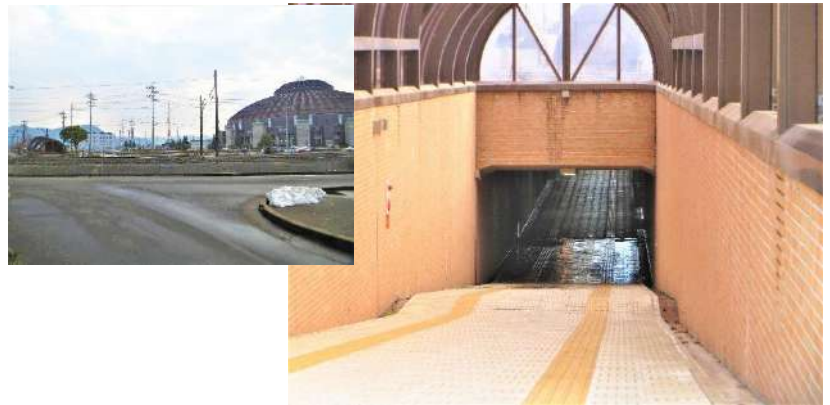


図11. JR北陸線の地下道(鯖江市舟津町4丁目)

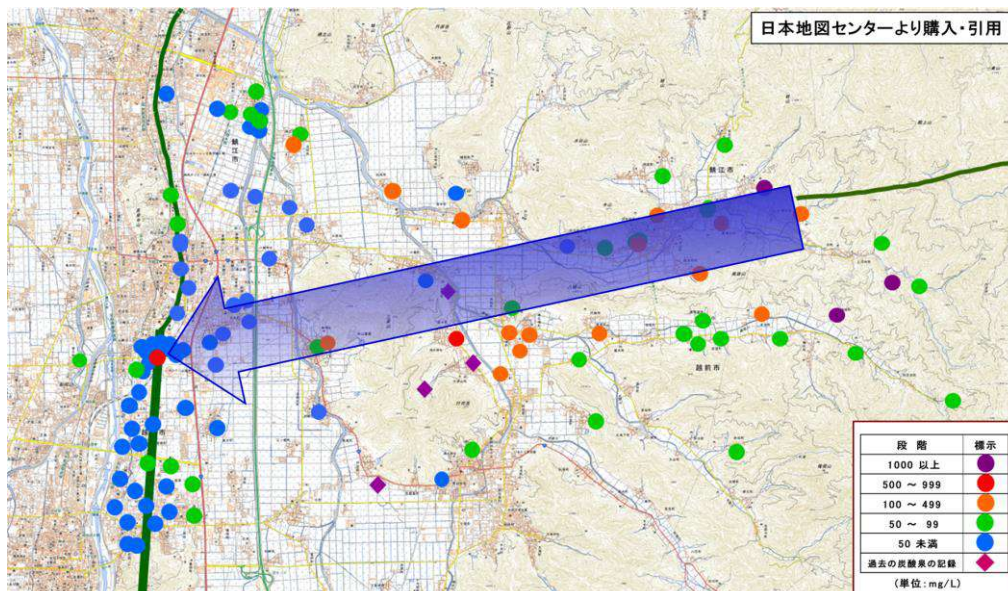


図10. 湧水や地下水中の炭酸水素イオン濃度分布

表3. JR北陸線地下道(舟津4丁目)の湧水のイオン分析結果

採水地		F <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
炭酸泉	上河内	—	多(測定不能)	—	122.07	2977.8
	寺中	—	47.85	—	171.90	1751.3
	清根	0.02	53.00	—	8.38	1587.7
中道院		0.51	14.48	2.16	7.45	81.2
JR地下道(舟津4)		0.21	21.82	35.66	71.38	648.0
武生高校		0.03	8.30	2.06	7.23	33.6



ある。また、殿上山断層が通過している一帯では、フッ化物イオン濃度が局所的に高い地点はあるが、その地点が列状に分布せず、断層を追跡することができない。また、鯖江断層との関係性を調べるためには、鯖江断層とは異なるトレーサーの方が有効なため、殿上山断層の追跡にはフッ化物イオンは利用しない方がよい。

一方、炭酸水素イオンは、炭酸泉に多く含まれており、図8の45の地点を除く鯖江断層に沿った地点では、炭酸水素イオン濃度が100mg/Lを超える地点は見られなかった。したがって、高濃度の炭酸水素イオンは、殿上山断層に特徴的であり、断層を追跡する上で有効であると考えられる。

(2) 殿上山断層は鯖江断層と交差するか

調査した結果、殿上山断層が国土地理院による活断層図に示された断層の西端よりも西側に伸び、鯖江断層の直前(図8の45の地点)まで達していることがわかった。この地点(図8の45の地点)は、鯖江市舟津町のサンドームの北西側で、JR北陸線の下を通る地下道になっている(図11)。また、鯖江断層が通過している場所でもある。この地下道の側溝の横からわずかにしみ出している地下水を採取し、イオン分析を行ったところ、表3に示した結果となった。これを見ると、採取した地下水には、炭酸泉並みの炭酸水素イオンが含まれていることがわかる。また、炭酸泉にはほとんど含まれていないフッ化物イオンも、鯖江断層上の中道院の湧き水と同等に含まれていることがわかる。したがって、殿上山断層に伴う炭酸泉と、鯖江断層に伴う湧き水の双方の性質が含まれていることになる。

ただ、この地点よりも西側では、地下水中の炭酸水素イオン濃度が高い地点は見つかっていないため(図12)、この地点よりも西側には殿上山断層が伸びていない可能性が高い。また地下道の地下水に含まれる炭酸水素イオンの濃度が非常に高いのに対し、鯖江断層に沿った地点の地下水に含まれる炭酸水素イオン濃度が低いことも注目できる。もし、殿上山断層が鯖江断層と接していれば、断層破砕帯を通して東側から移動してきた炭酸水素イオン濃度が高い地下水は、鯖江断層の断層破砕帯に入り、鯖江断層に近い地点での地下水の炭酸水素イオン濃度が上昇すると考えられる。しかし、鯖江断層に沿った地点で、地下水に含まれる炭酸水素イオンの濃度が100mg/Lを超える地点は、この地下道以外になかった。したがって、東側から伸びている殿上山断層の変位は、鯖江断層の直前で止まり、鯖江断層とは接していないと考えられる。また、このことは、殿上山断層に対して、鯖江断層の方が優勢であることを示していると考えられる。

5 今後の課題

本研究では、地下水に含まれる炭酸水素イオン濃度を測定し、殿上山断層のルートを追跡することで、次のようなことを明らかにすることができた。

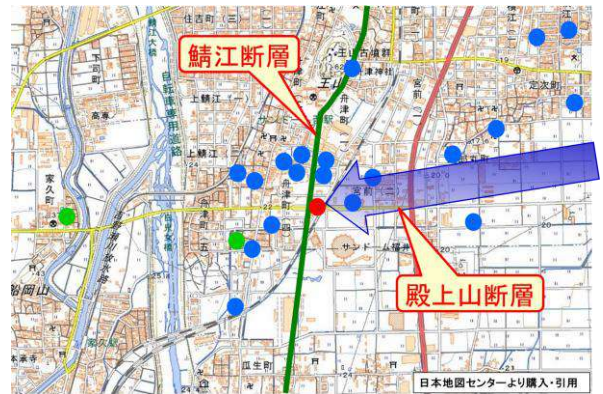


図12. JR北陸線地下道周辺の地下水の炭酸水素イオン濃度分布(赤のプロットが地下道)

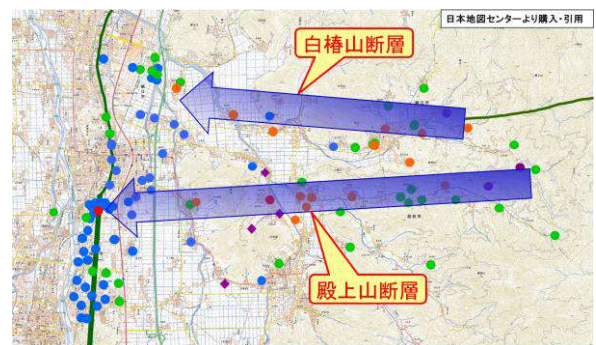


図13. 調査結果に見られる2本のライン(帯)

EQ Distribution at Eastern Sabae City  
- \*060401 - \*090331, M≥1.0, H≤20km -

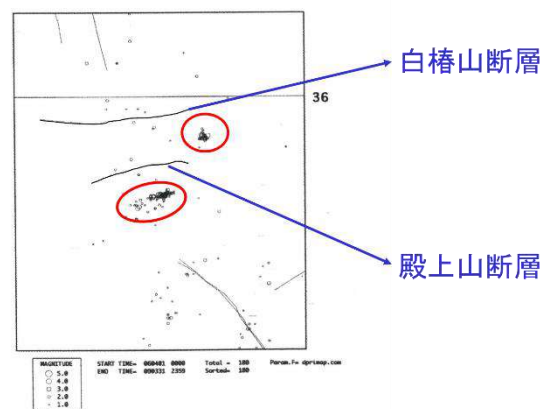


図14. 2本の断層と震央の分布(赤丸は震央の集中部)(岡本ほか,2014より引用)

- ・殿上山断層のトレーサーとして炭酸水素イオンが有効であること。
- ・殿上山断層は、国土地理院による活断層図に示されたルートよりも西側に伸びていること。
- ・殿上山断層は、鯖江断層と交差せず、鯖江断層の方が優勢であること。

一方、本研究では、図10のように国土地理院による活断層図に示された殿上山断層のルートよりも更に西側に、1本のラインが伸びていることを推測したが、見方によっては図13のように2本のラインがあることも考えられる。図14は、岡本(2014)に示

された図で、2006年4月から2009年3月の期間における調査範囲での地震の震央と、国土地理院による活断層図に示された殿上山断層と白椿山断層のルートを示している。この図は、図13で示した2本のラインの存在を支持しているようにも見えるが、地震は断層面付近で発生しやすいため、実際の断層は地震の震央が集中している範囲(図14の赤丸で囲った範囲)を通過していると考えられる。しかし、この範囲は、国土地理院による活断層図に示された2本の断層のルートからは2000~3000mほど南へずれているため、さらに調査を行う必要があり、今後の課題とする。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、地震や断層に関する多くの御教示をいただいた福井工業高等専門学校の岡本拓夫教授、湧き水のイオン分析でお世話になった福井県教育総合研究所理科教育課の今澤泰秀課長、三里山の炭酸泉に関して御教示をいただいた鯖江市下新庄町の木水理氏、地下水の採取でお世話になった多くの住民の皆さんにお礼申し上げます。

## 参考文献

- 安達美悠ほか, 2022. 地下水の分析は断層のルート解明に有効である ~沖積層に覆われた断層のルート解明に挑む~. 武生高校課題研究論文集:28-37.
- 石塚千夏ほか, 2020. 動き出した? 鯖江断層-湧き水を用いて断層のルートを探る-. 武生高校課題研究論文集:26-35.
- 環境省自然環境局, 2014. 鉱泉分析法指針(平成26年改訂):163pp.
- 岡田篤正, 1979. 愛知県の地質・地盤(その4)(活断層). 愛知県防災会議地震部会.
- 岡本拓夫ほか, 2008. 2007年12月21日に鯖江市東部付近で発生したM4.5について. 月刊地球, 30(10):431-438.
- 岡本拓夫ほか, 2010. 福井県鯖江市付近に認められる低地震活動域とそのテクトニクス. 福井高専研究紀要(44):35-40.
- 岡本拓夫ほか, 2014. 鯖江市東部に認められる地震活動帯を分ける断層構造について. 福井高専研究紀要(48):51-54.
- 大友奈々ほか, 2021. 鯖江断層は越前市村国山を通る -湧き水を用いて村国山における断層のルートを解明-. 武生高校課題研究論文集:28-31.
- <https://www.gsi.go.jp/top.html> (国土地理院ホームページ)