

# 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～

福井県立武生高等学校 探究理科

## abstract

This paper focuses on the Sabae Fault which extends from the south part of Fukui city to Echizen city. This fault is an active fault which exists in the area where no earthquake occurred for many years. The route of that fault has not been studied in detail. To elucidate the route, we measured the difference of fluoride ion concentration of underground water. As a result, we would demonstrate the effectiveness of analyzing underground water to determine the Sabae Fault route. Besides, we could determine the fault route from Funatsu town in Sabae city to Mt.Murakuni in Echizen city.

## 1 問題提起・研究目的

鯖江断層は、福井市南部から越前市にかけて南北に伸びる活断層で、断層面に対して西側が隆起した逆断層である。この断層の最新活動は500～3000年前と考えられており、その後の活動はなく、断層が存在すると考えられている一帯は、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（岡本他, 2010）（図1）。

鯖江断層のルートに関しては、図2に示したように、大きい箇所では段差が約10mある、明確な土地の段差が確認できる福井市三十八社（さんじゅうはっしゃ）町から鯖江市舟津町（サンドーム付近）にかけてのルートがほぼ明らかになっている。しかし、サンドーム以南のルート（図2の点線で示した部分）はまだ大部分が解明されていない。

サンドーム以南（図3）では、断層を生じた岩盤の上に厚い沖積層が堆積しており、さらに長い年月の間に、浸食や耕作に伴い地表部の地形の変化が進んでいるため、断層の痕跡が確認できなくなっている。その結果、断層の規模やルートは不明な部分が多く、解明が望まれている。

断層の調査は、通常、ボーリング調査やトレンチ調査などによって行われるが、これらの方法は大きかりで、高校生には無理な調査法である。そこで、武生高校では、高校生にもできる方法で断層のルートを解明しようと研究を行っている。坂口慧子

（当時、武生高校理数科3年）らは、土地の傾斜の変化を地形図で読み取り、断層が越前市の村国山を通り、畑町付近まで伸びているのではないかと提唱した（坂口他、

2017）（図2参照）。この越前市畑町付近は、地震の空白域の南端とも一致している。また、石塚千夏（当時、武生高校理数科3年）らは、鯖江断層の調査法としてフッ化物イオンの重要性を示した（石塚他, 2020）。さらに、大友奈々（当時、武生高校理数科3年）らは、越前市村国山において鯖江断層の断層破碎帯の一部を発見するとともに、湧き水中のフッ化物イオン濃度を比較することで、村国山における鯖江断層のルートを解明した（大友他, 2021）。しかし、サンドームから村国山に至るルートは、まだ詳細には解明されていない。そして、この範囲の規模やルートを解明することは、防災対策上の重要な課題であるといえる。そこで、私たちは、サンドームから村国山までのルートを解明し、越前市や鯖江市の防災対策に協力したいと考え、研究を行っている。

## 2 研究方法

大友他（2021）では、湧き水中のフッ化物イオン濃度に注目し、村国山における鯖江断層のルートの解明に至った。湧き水中のフッ化物イオン濃度を用いた断層のルート調査は、文献などでは見つからなかった調査手法である。フッ素は、蛍石などの特殊な鉱物に多く含まれる元素で、鯖江市や越前市の地表付近には少ないため、地表付近に存在する地下水や伏流水には、フッ化物イオンは僅かしか含まれていない。しかし、日本列島は、海洋プレートの沈み込みによって形成された付加体で、海底の堆積物が基盤となっているため、地下深くに存在する深層水には海水の名残が残されてい

る。そのため、海水に多く含まれるフッ化物イオンが多く含まれている。深層水は、地下深くに存在するため、上を覆っている岩盤に遮られて、通常は地表付近に上昇してくることはない。しかし、地下に断層があると、地下深部の圧力により、断層面に沿って形成された断層破碎帯を通り、深層水が押し上げられてくる。その結果、断層破碎帯の近くで見られる湧き水には、周囲の地下水と比べてフッ化物イオンが多く含まれると考えられる。したがって、湧き水に含まれるフッ化物イオンの濃度は、断層のルートを探るための重要な情報として利用できると考えられる。

しかし、村国山には湧き水や流水が多く見られるのに対し、サンドームから村国山までの範囲には、湧き水が見られないため、湧き水を用いた調査方法では断層のルートを探ることはできない。そこで注目したのは地下水である。図2に青色の点線で示した鯖江断層の推測されるルートを含む一帯は、地下に日野川の伏流水を起源とする地下水が豊富に存在している。そして、多くの家庭で地下水をポンプでくみ上げ、生活や農業、融雪などに利用している。この地下水について、もし近くに断層が通っていれば、上昇してきた深層水が混じり、周囲と比べて水中のフッ化物イオン濃度が高くなると考えられる。そこで、現在ルートが判明している部分の南端である鯖江市舟津町から村国山までの地域で、日野川と国道8号線に挟まれた範囲(図4)を調査地域に設定し、この範囲の住宅を回り、家庭や畑で使われている地下水のサンプルを集め、イオンクロマトグラフィーでフッ化物イオン濃度を測定し、比較した。ただし、一部この調査地域外のサンプルも含まれている。なお、地下水のサンプルは遠沈管2本に入れて持ち帰り、フッ化物イオン濃度は2本の平均値を求めた。

### 3 結果

#### (1) 日野川右岸での調査結果

調査地域の地下水浅層部のほとんどは、日野川の伏流水と考えられるため、フッ化物イオン濃度の比較の基準を設定するために、まず日野川に面した地域で伏流水中のフッ化物イオン濃度を調べた。調査は、日野川の右岸を武生高校を起点として北側方向に進め、図5のA～Fの各地点で地下水のサンプルを採取し、含まれるフッ化物イオン濃度を測定した。図5の採水地を示すプロットの横の数値はフッ化物イオン濃度の測定結果を示している。当初、どの地点も日野川に面しているため、フッ化物イオン濃度は低いと予想していたが、予想に反してフッ化物イオン濃度には大きな差が見られ、E地点やF地点ではA地点で採取した地下水の2倍、あるいは2倍を超える濃度であった。ただ、地下水に含まれるフッ化物イオンの濃度が場所によって異なることが確認できたため、東西方向でも調査を行った。なお、当初はAからFまでのすべての地点のフッ化物イオン濃度を平均して比較の基準にする予定であったが、各地点の濃度に大きな差が見られたため、測定結果が最も低かったA地点のフッ化物イオン濃度0.023mg/Lを濃度を比較する際の基準とした。

#### (2) 東西方向(越前市村国4丁目～馬上免町)における調査結果

東西方向の調査地点として、鯖江市舟津町と村国山のほぼ中間付近にあたり、道路に沿って東西方向に住宅が並んでいる越前市村国4丁目から馬上免(ばじょうめ)町にかけての範囲を選んだ。図6にプロットしたG～Nの各地点で地下水のサンプルを採取し、含まれるフッ化物のイオン濃度を測定した。図6中のプロット近くにかかれている数値は、フッ化物イオン濃度の測定結果を示している。これを見ると、東西方向でも地下水中のフッ化物イオン濃度に違いが見られ、K、L、M地点で濃度が高くなっていることがわかる。そこで、さらに広範囲で調査を行えば、地下水中のフッ化物イオンの濃度分布に、断層が影響してい

ると考えられる特徴が見つかるのではないかと考え、調査を予定している地域の全域で調査を行うことにした。

#### (3) 調査対象地域全域での調査結果

86地点で地下水のサンプルを採取し、フッ化物イオン濃度を測定した。この結果を図7のように段階別に色分けし、地形図上にプロットしたところ、図8のような濃度分布となった。

## 4 考察

断層の段差の上の沖積層は、堆積する際に段差の痕跡を残すように堆積し、地表では緩やかな傾斜を形成する。このような地形を活撓曲(かつとうきょく)とよび、過去の断層の活動によって断層から地表面に向かって何本もひび割れを生じているということである(岡田, 1979)。したがって、このような場所では、断層破碎帯を上昇してきた深層水が地表に向かって移動しやすいため、地下水中に深層水が混じり、周囲と比べて地下水に含まれるフッ化物イオンの濃度が高くなると考えられる(図9)。断層に伴う段差は列状(直線とは限らない)につながっているため、フッ化物イオン濃度が高い地点も列状に分布すると考えられる。そこでこのような観点で図8を見ると、図10に示したような青色の矢印のライン(帯)が確認できる。このラインは、これまでに判明している鯖江断層のルートや、未解明部分の提唱されているルートから考えて、鯖江断層のルートと考えられる。

ただ、このルートから離れた地点でも地下水に含まれるフッ化物イオンの濃度が高い地点が見られる。これに関しては、地下の伏流水が流れる方向と沖積層の構造で説明できる。図11は北陸農政局計画部(1977)で示された伏流水の流れである。これを見ると、越前市村国山付近から北側に向かう流れと、北東方向に向かう流れがあることがわかる。この流れの方向と図8のフッ化物イオン濃度が周囲と比べて高い地点の分

布はほぼ一致しており、上昇してきた深層水が、伏流水の流れによって断層破碎帯の真上の地点から拡散していることが考えられる。

また、図12は、調査地域の一部を含む領域の地下の堆積構造を示したものである(福井県, 1965)。これを見ると、沖積層の堆積構造がきれいな層状ではないことがわかる。したがって、沖積層の中には深層水が通りやすい構造になっている部分もあると考えられる。このような地点では、断層のルートから離れていても、ホットスポット状に地下水に含まれるフッ化物イオン濃度が高くなると考えられる(図13)。断層のルートから離れた地点で、地下水に含まれるフッ化物イオン濃度が特に高くなっている地点は、そのような場所の可能性はある。

## 5 結論・課題

調査の結果、地下水のフッ化物イオン濃度をプロットした地形図(図8)上で、地下水のフッ化物イオン濃度が周囲より高い地点が列状に並んだ部分を見つかり、鯖江市舟津町から越前市村国山までのルートを解明することができた。

ただ、調査が十分ではない場所があるため、今後、不十分な箇所を補い、より正確なルートに近づけていきたいと考えている。また、本研究は地下水を用いた間接的な研究であるため、正確なルートを描くためには、ボーリング調査などを行う必要がある。

鯖江市では、1900年に鯖江断層の近くで、別の断層に由来すると考えられるM5.8の地震が発生し、被害が出たという記録が残っている。また、鯖江断層の活動による地震は長い間発生していないが、近年、断層の近くにある鯖江市の中道院で、紀伊水道を震源とする地震の際に、池中央部の割れ目から水が湧き出すようになる異変が起こっている。石塚(2020)によれば、この湧き水のフッ化物イオン濃度は0.514ということである。この濃度は、本研究の調査結

果の最高値0.083mg/Lの6倍を超える濃度である。この寺院の地下では、鯖江断層と殿上山断層が交叉している可能性が高く、岩盤のプレスリップに伴い地下の深層水が上昇しやすくなったと考えられる、今後注意して経過観察を行う必要がある場所である。

## 6 参考文献

- 福井県, 1965. 福井県水理(地下水)地質図説明書. 97p
- 北陸農政局計画部, 1977. 福井県の水理地質と地下水. 48p.
- 石塚千夏他, 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.
- 見野和夫他, 1986. 北陸地方南部の活断層(1)-鯖江断層-. 京大防災研究所年報(29):23-28.
- 見野和夫, 1986. 北陸地方南部の活断層(2)-鯖江断層-. 地震2(39):567-577.
- 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.
- 岡本拓夫他, 2007. 鯖江断層トレンチ調査-経緯-. 福井高専研究紀(41):105-112.
- 岡本拓夫他, 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, 2016. 福井平野西縁部と鯖江断層. 福井高専研究紀要(50):59-62.
- 岡本拓夫, 2019. 鯖江断層北部と福井平野-鯖江断層南部との関連-. 福井高専研究紀要(53):19-22.
- 大友奈々他, 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.
- 坂口慧子他, 2017. 鯖江断層の南端を発見して防災に繋げよう. 武生高校課題研究論文集:1-4.
- <https://www.gsi.go.jp/bousaichiri/faq.html> (国土交通省 国土地理院ホームページ)

## 7 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頂いた福井工業高等専門学校の岡本拓生教授、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先生方にお礼申し上げます。

## 8 図表・画像

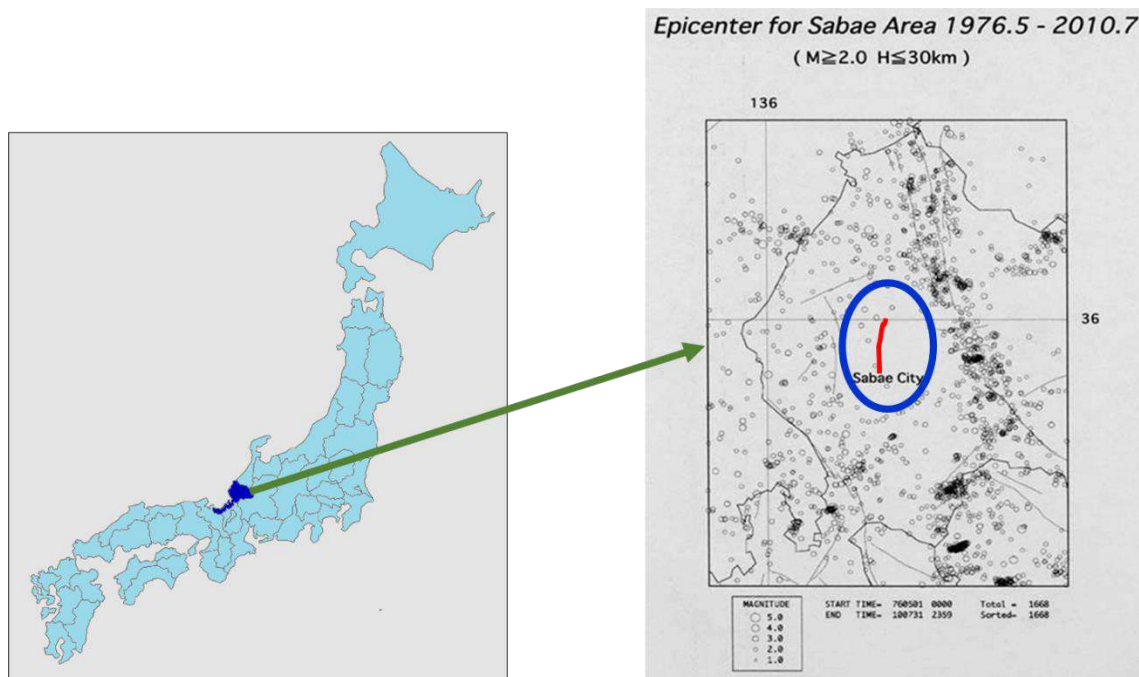


図1. 鯖江断層周辺の地震の空白域 (岡本他, 2010より引用)



図3. 村国山からサンドーム方向を望む



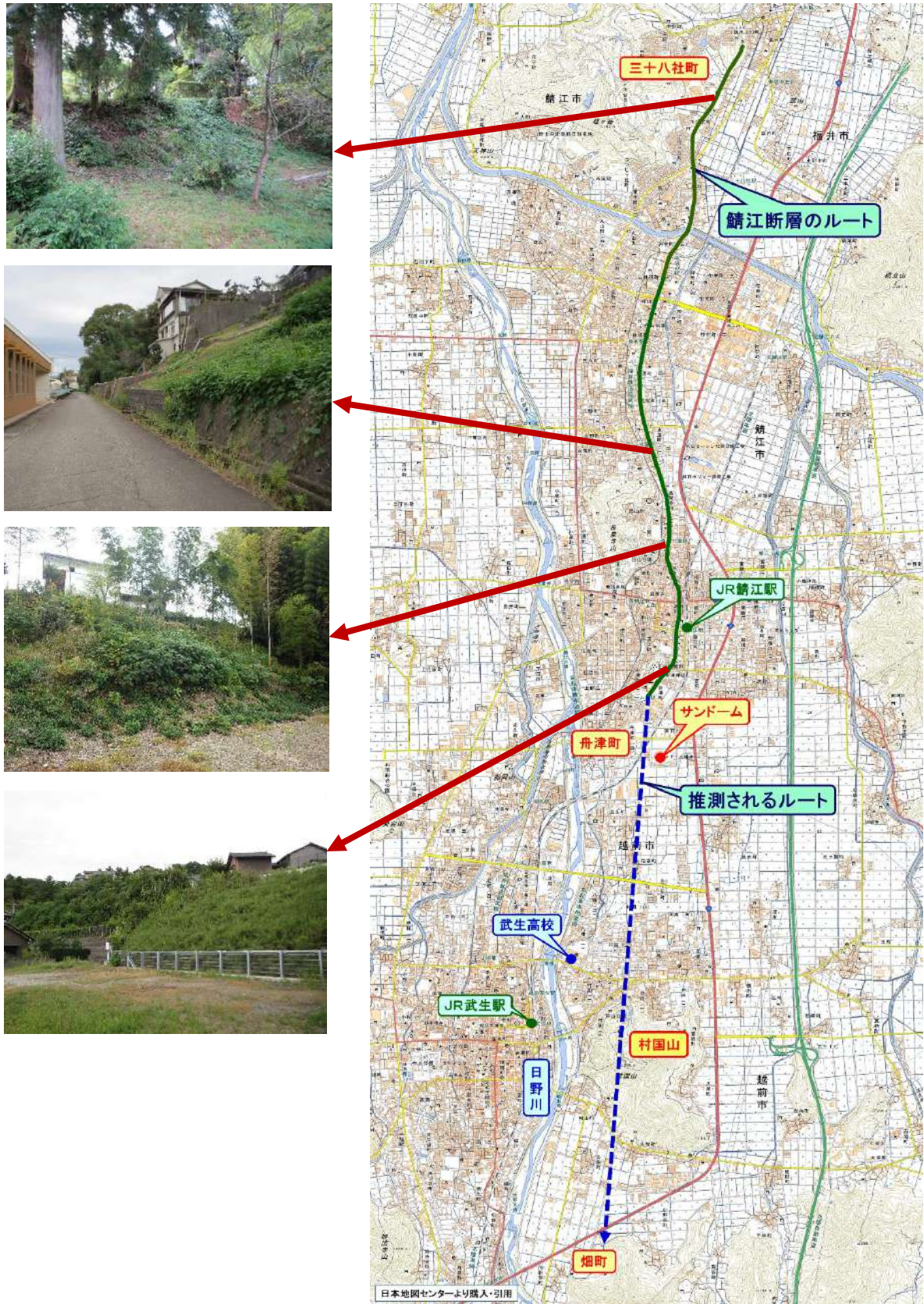


図2. 鯖江断層のルートおよび推測されるルート





図4. 調査を予定した地域

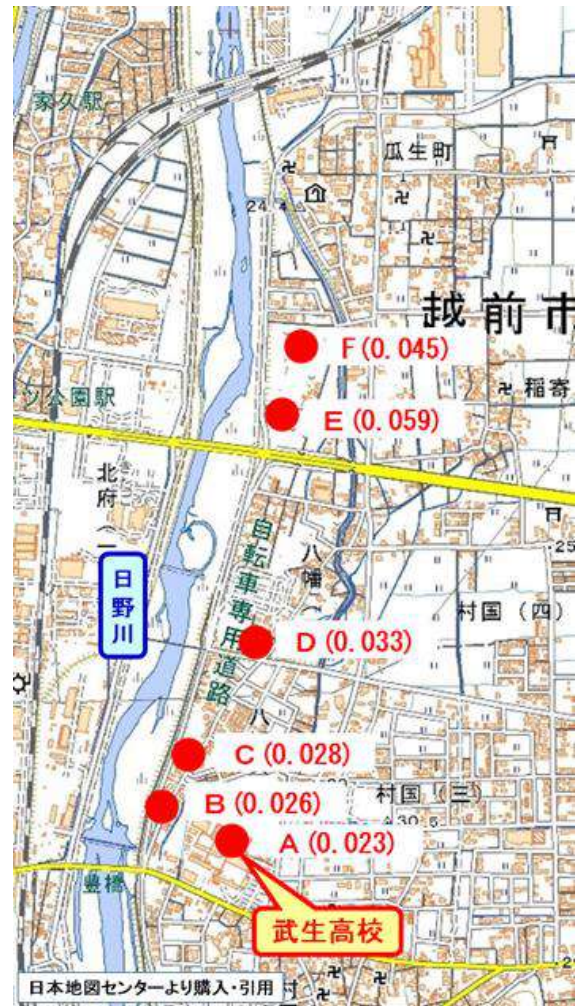


図5. 日野川右岸の調査地点（カッコ内の数値はフッ化物イオン濃度：単位mg/L）

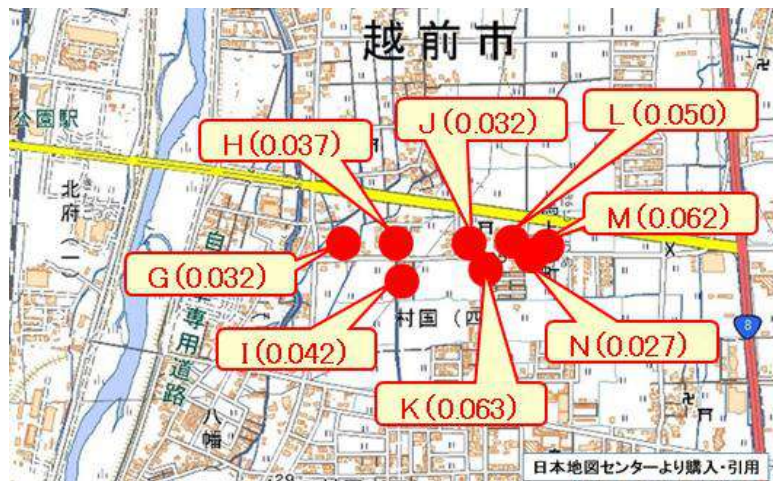


図6. 越前市村国4丁目～馬上免町の調査地点（カッコ内の数値はフッ化物イオン濃度：単位mg/L）



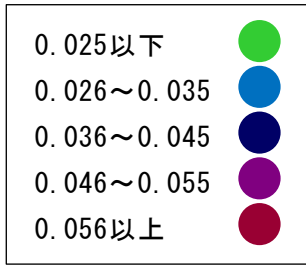


図7. フッ化物イオン濃度の段階別標示(単位mg/L)

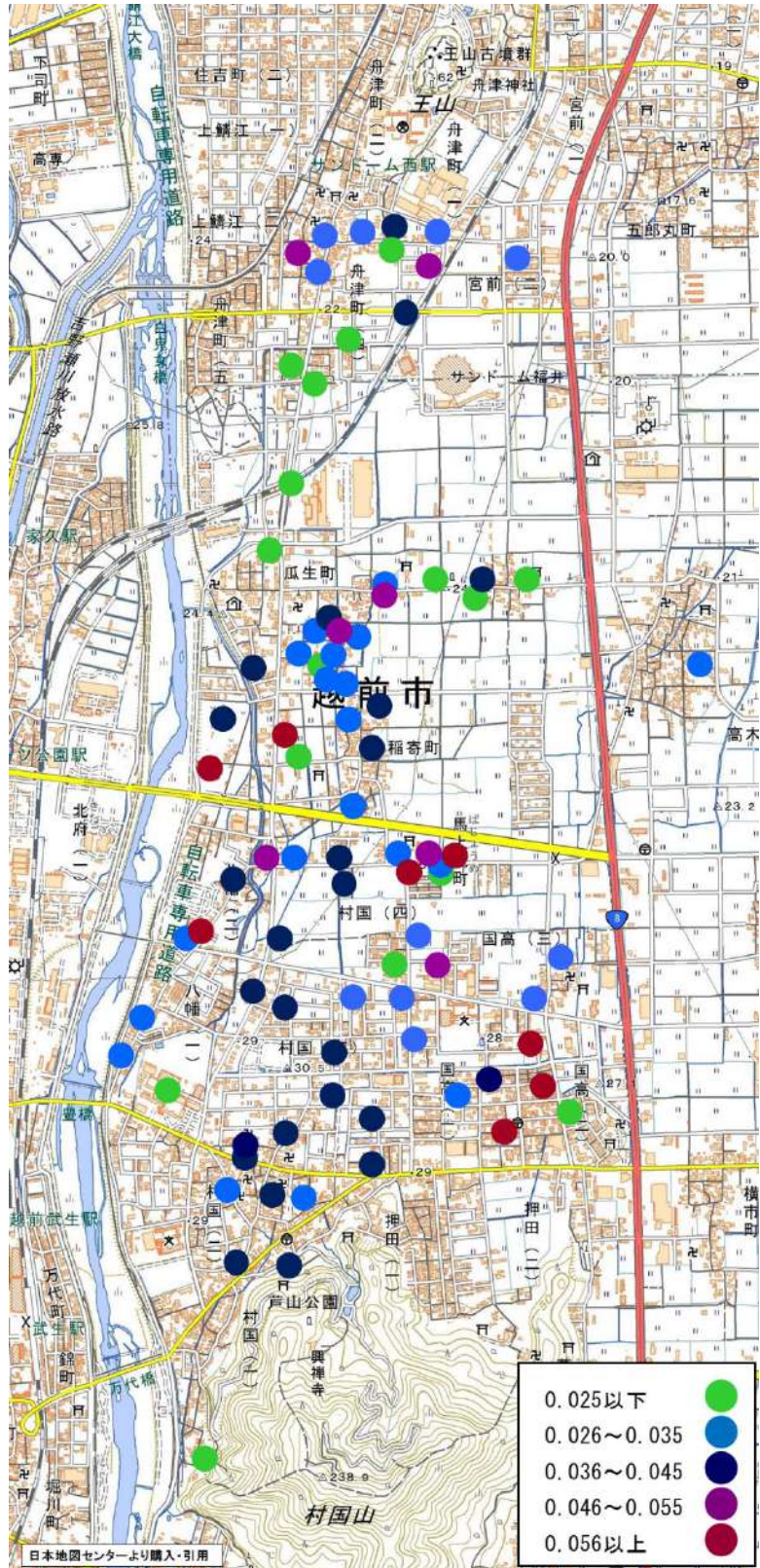


図8. 地下水中のフッ化物イオン濃度分布



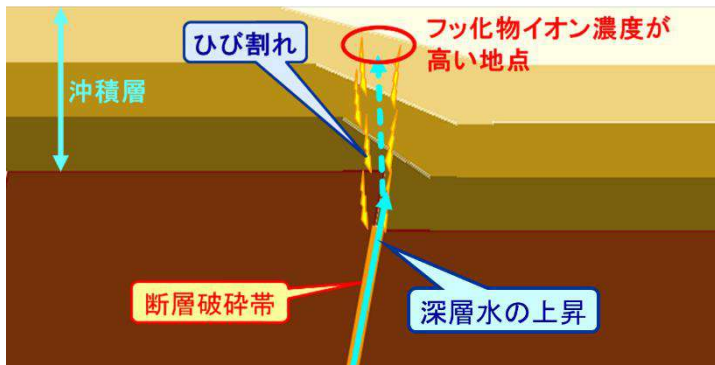


図9. 沖積層と深層水の上昇

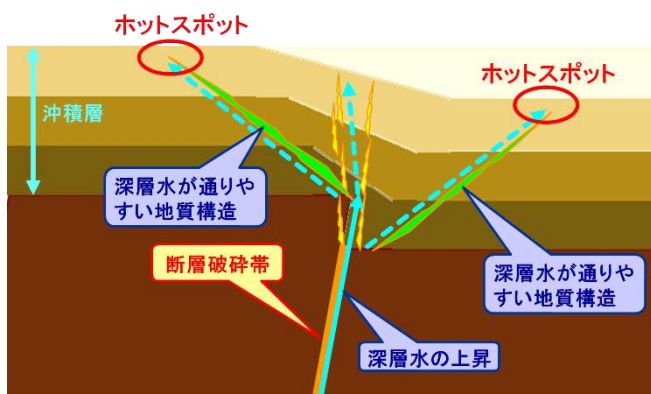


図13. 地下の構造とフッ化物イオン濃度の上昇



図11. 調査地域での伏流水の流れ  
(北陸農政局計画部, 1977より引用)

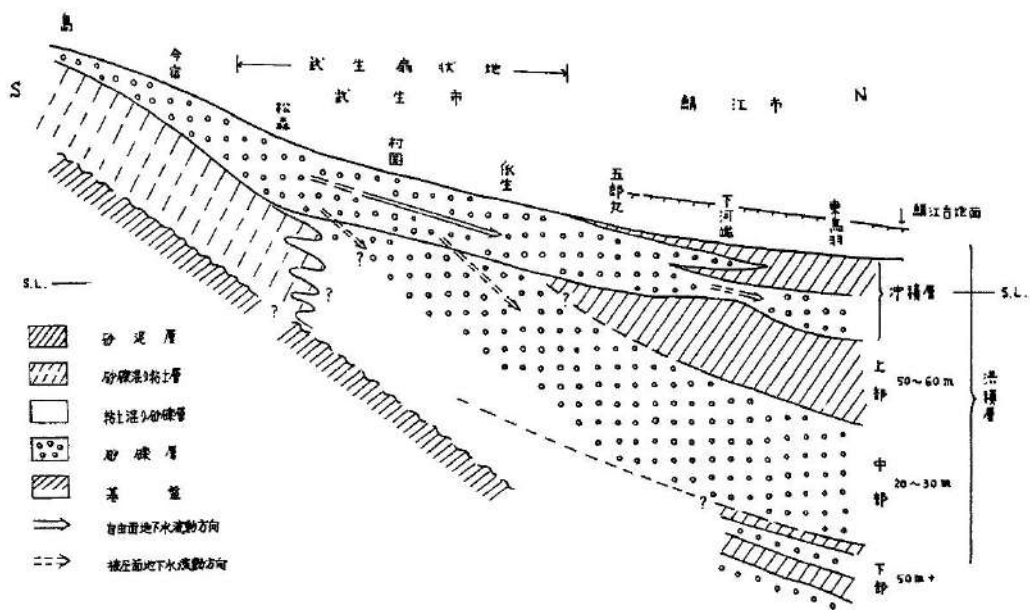


図12. 調査地点の一部を含む地域の地下の堆積構造  
(福井県, 1965より引用)

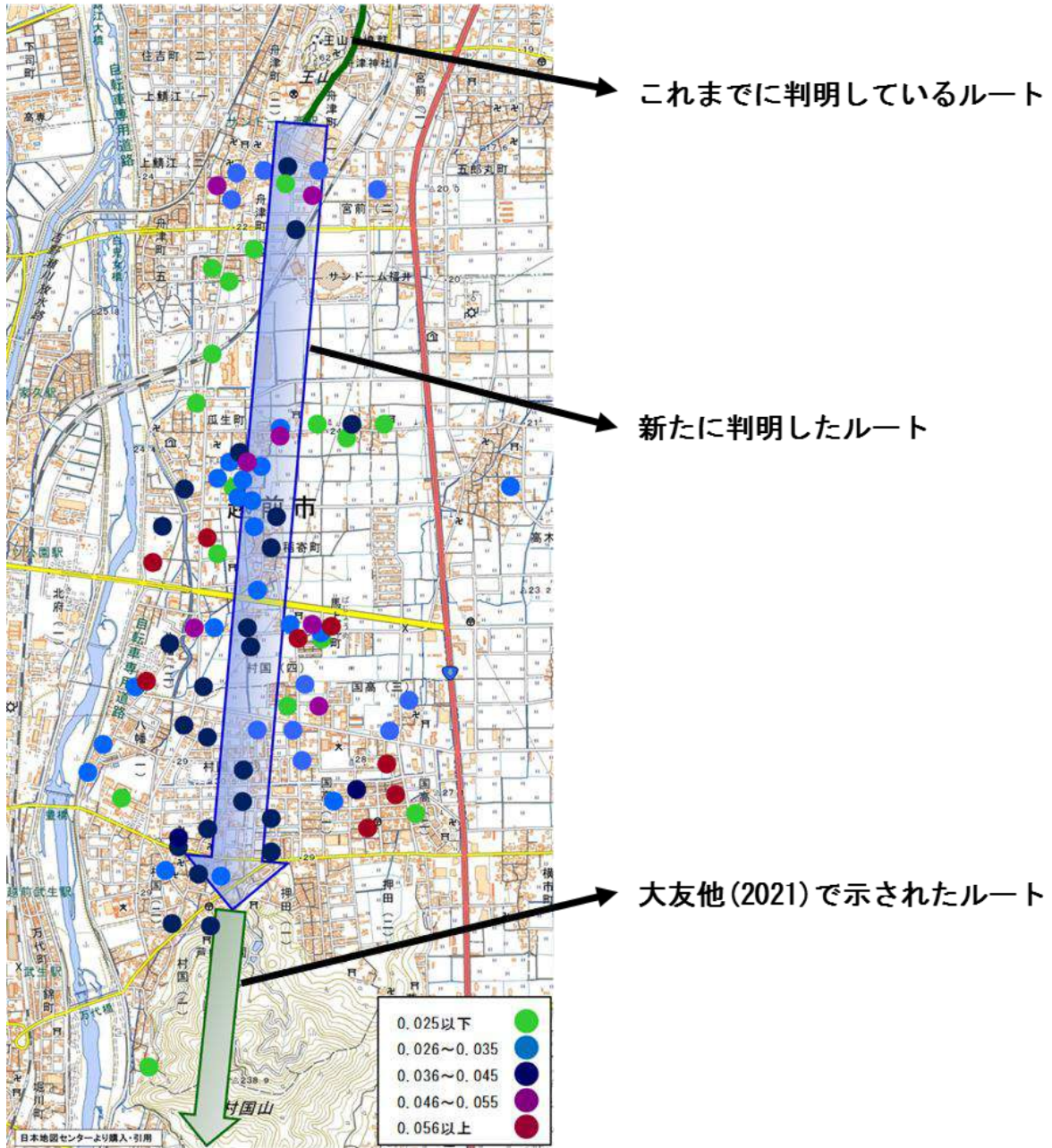


図10. 新たに判明した鯖江断層のルート（青の矢印）