

安曇川の水質と花折断層・琵琶湖西岸断層との関係について

小泉尚嗣・植田雅大・箕手慎介・田中達也・丸尾雅啓(滋賀県立大学・環境科学部)

三谷寛人(大黒天物産)

1. はじめに

断層面周辺では、繰り返しの破壊によって生じた高密度の割れ目が高透水性構造をもたらし、その部分が地下水の通路となる(例えば, Faulkner et al., 2010). 結果として、断層と地表が交差する部分に、周辺の地質・地形・降水状況に応じて、水・熱・物質が地下水によって安定的に供給される。例えば、活断層周辺で湧水や温泉が多数認められるというのはよく知られた事実である(見野・他, 1985; 小泉・他, 1986; 小泉・他, 2018). 活断層は、数千年～数万年に1回程度という非常な低頻度で大地震を発生させて環境を破壊するが、それ以外の大部分の時期は環境を形成・維持していることになる。

環境の重要要素である河川の水は、一般に、直近の雨に起因して地表から河川に流れ込む地表水と地下水から安定的に供給される水(基底流)の2成分からなると考えられる(例えば, Domenico and Schwartz, 1990). したがって、河川の近傍にある活断層は、この基底流を介して、河川水の水質に寄与すると考えられる。

本研究では、滋賀県西部の安曇川における水質の場所的変化や時間的変化を調べ、それらと花折断層・琵琶湖西岸断層との関係について考察した。

2. 観測

2.1 観測点の概要

滋賀県西部(湖西地域)にある安曇川は(図1)、延長約60kmで、琵琶湖に流入する河川の中で、長さでは野洲川について第2位の河川である(滋賀県, 2018). 安曇川は、京都市北東部の丹波高地の百井峠付近に発し、北東に10km程度流れた後(図1のMMI~HN0区間)、花折断層(地震調査研究推進本部, 2003)と合流して同断層沿いに30km程度北上し(図1のHN0~ARK区間)、花折断層から離れて20km程度東進し(図1のARK~KTG(HNJ)区間)、途中で琵琶湖西岸断層(地震調査研究推進本部, 2009)を横断した後に琵琶湖に流入する。このように安曇川は、滋賀県西部の2大断層である花折断層・琵琶湖西岸断層と位置的には密接な関係を持つ。他方、安曇川流域は、滋賀県内の大規模河川としては、最も開発されていない所で、自然河川の性格を比較的よく残しているとされる(琵琶湖流域研究会, 2003). また、安曇川の最上流から中流のほとんどの区間(図1のMMI~ARK区間)の地質は中~後期ジュラ紀



図1: 2018年8月12~14日の安曇川の水質調査地点(●)と気象庁の気象観測点(▲). 活断層データベース(産業技術総合研究所, 2019a)の図に加筆. 背景の地図は地理院地図(国土地理院, 2019). DOKENSAN F.(堂建山断層)は活断層データベース(産業技術総合研究所, 2019a)には記されていないが、地震調査研究推進本部(2003)には記されていない。

の堆積岩であり、下流は後期更新世以降の若い堆積岩（堆積物）なので（産業技術総合研究所，2019b），地質の場所的变化も少ない。したがって、河川水の水質形成における活断層の寄与を研究する上で適した河川と言える。

琵琶湖西岸断層や花折断層周辺にはいくつかの温泉が存在している（図2）。安曇川周辺において、これらの温泉の水質を調べて見ると、我々が2017～2018年に存在を確認できたすべての温泉で、陽イオンでは Na^+ の濃度が卓越し、陰イオンでは HCO_3^- 濃度が卓越するいわゆる Na-HCO_3 型であった（図2）。また、その濃度は、後述する安曇川のイオン濃度より数倍～10倍程度大きい。一般に、通常の状態での浅層地下水は、 Ca-HCO_3 型（陽イオンでは Ca^{2+} 濃度が卓越，陰イオンでは HCO_3^- 濃度が卓越するタイプ）となることが知られているので（日本地下水学会，2011），河川流量において基底流量が多い時期（降水の少ない時期）の水質は、 Ca-HCO_3 型になることが考えられる。それに対して、琵琶湖西岸断層や花折断層経由の Na-HCO_3 型で濃度の高い温泉水が関与すれば、水質の型が場所や時間によって変化することが期待出来る。なお、温泉といっても、図2で水質を示した各温泉の水温は、最高のHRSS（深さ1,050mのボーリング孔から湧出）でも 38°C で、それ以外は $15^\circ\text{C}\sim 30^\circ\text{C}$ であって、河川水の水温測定による温泉水の寄与の検出は難しいと考えられる。

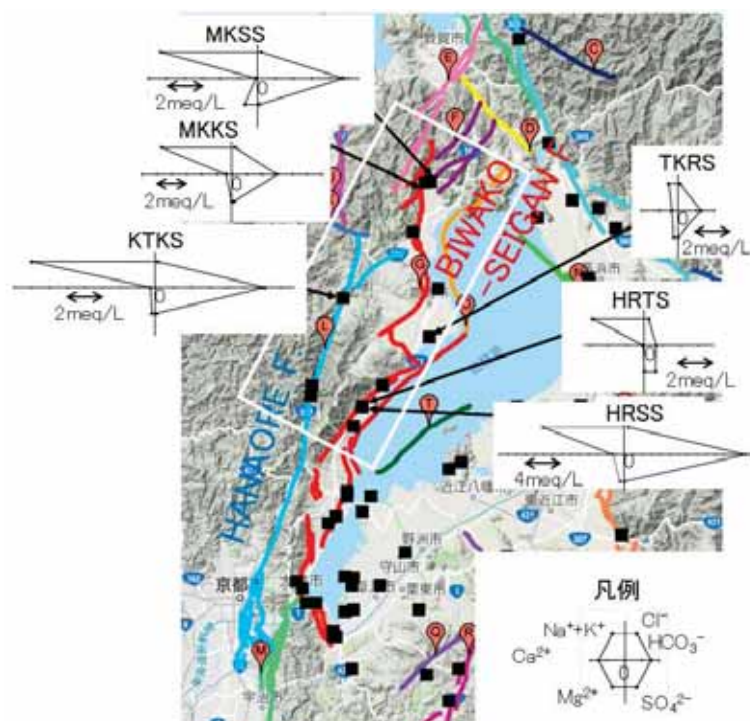


図2 滋賀県の温泉台帳に基づく温泉の分布（■）と活断層。白い枠の中の温泉で、2017～2018年時点で確認されたものについて水質を示している。背景の地図と活断層の分布は活断層データベース（産業技術総合研究所，2019a）による。

2.2 観測方法

気象庁の雨量観測点のIMZ（今津）・MNM（南小松）の2つの観測点（図1）で13日間降雨がなかった後の2018年8月12日～14日に、安曇川上流から河口付近までの20点で河川水の水質等現場測定および水のサンプリングを行った（図1）。ただし、KTK（朽木平良）では、8月9日に5.5mm，8月10日と11日に0.5mmの日雨量があった。8月12日にはIMZで19mm，KTKで1.5mm，8月13日にはMNMで7mm，KTKで6mmの降雨があった。また、図1でUMNとFNKの間が空いているのは、この区間で一時的に降雨があり、その部分を避けて水質等の測定およびサンプリングを行った為である。また、2018年4月～10月の間に約1ヶ月のサンプリング間隔で6回、琵琶湖西岸断層を挟む4点（図1のRYD・HRS・ADG・KTK）で水質等調査を行った。以上の結果と、過去の安曇川の水質データや安曇川周辺の温泉の水質データ等を比較検討した。

3. 結果

3.1 水質の場所変化

2018年8月12～14日に行った調査の結果を記す。20点すべてにおいて水質のタイプは Ca-HCO_3 型の

水であった。水源付近のMMI から、花折断層と安曇川が合流直後の NKH までは、それぞれのイオン濃度は概ね一定で、NKH 以降、(安曇川が花折断層から離れる) TKI まで徐々に増加し、それ以降は河口近くの ADG までほぼ一定で、河口の KTG と HNJ では一部のイオンが局所的に大きく変化した(図 3)。ただし、HNJ では河川水が流れていたが、KTG では河川水がほとんど流れていない状況であった。また、TKI から 1 つ下流側の ARK でも、ほぼ全てのイオン濃度が局所的に増加した。花折断層との合流部で、特に増加したのは Ca^{2+} 濃度と HCO_3^- 濃度であった。他方、琵琶湖西岸断層を挟む HRS と ADG の間でイオン濃度の変化は特に認められなかった。

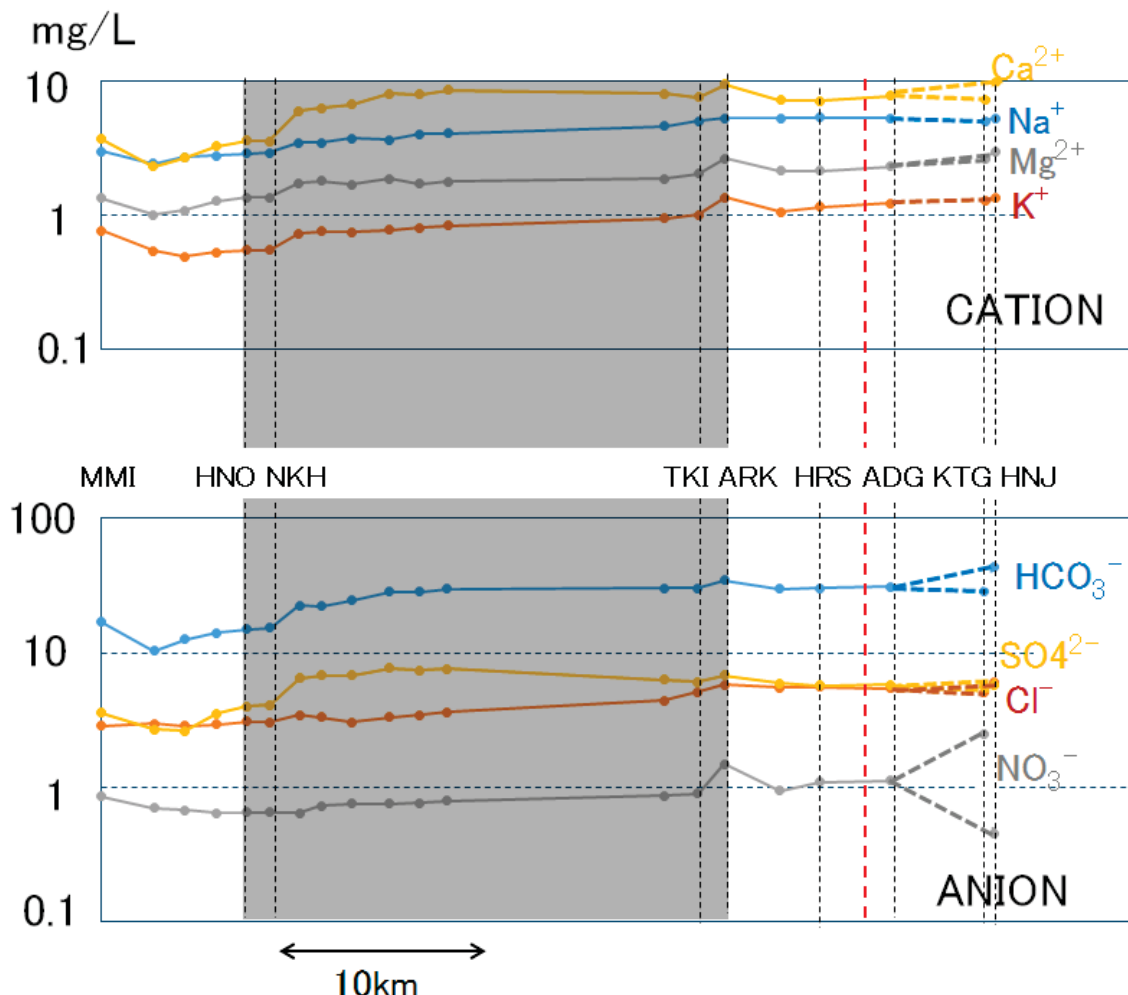


図 3 2018 年 8 月 12~14 日の調査における安曇川の上流(左側)から下流(右側)にかけてのイオン濃度変化。横軸は、各採水地点(図 1)の 2 点間の直線距離を積算したもの。影の部分は、安曇川が花折断層と合流している部分。赤線は、琵琶湖西岸断層と安曇川が交差している部分。

このような全体のイオン濃度と違う傾向を示したのは、 NO_3^- 濃度である。全体として花折断層部分での変化は少なく、ARK と KTG で大きく増加し HNJ では大きく減少した。 NO_3^- は、水質汚濁の指標の 1 つとなっており(例えば、国立環境研究所, 2019)、その濃度変化については、自然要因に加えて人工的要因も考えられる。

3.2 水質の時間変化

RYD・HRS・ADG・KTG での水質のタイプは、主要イオン濃度の分析がほぼ終わっている 2018 年 4 月~8 月の期間は一貫して Ca-HCO_3 タイプであった(図 4)。 NO_3^- を除くと、各イオン濃度は、少雨の時期(2018 年 8 月)に高く、それ以外の時期には低いという傾向が認められた。 NO_3^- 濃度については、KTG を除外して RYD・HRS・ADG の結果を比較した。典型例として ADG の結果を図 4 に示す。 NO_3^- 濃度は、多雨期の 7

月に上昇し少雨期の8月に下降するという他のイオン濃度とは異なる挙動を示した。

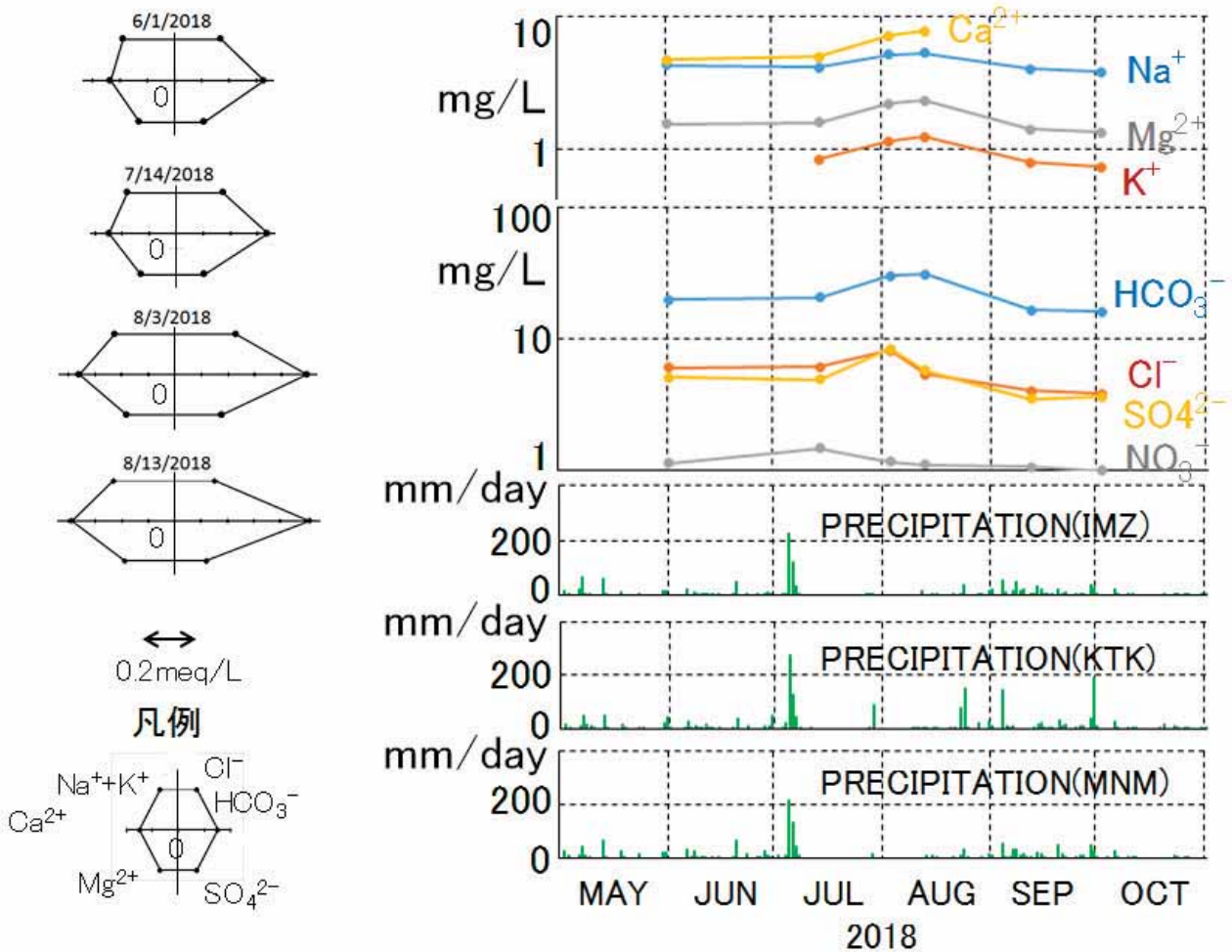


図4 ADGにおける水質変化とIMZ・KTK・MNMにおける日雨量。Ca²⁺とK⁺の濃度については、測定できていない時期がある。2018年6月1日、7月14日、8月3日、8月13日のサンプルのヘキサダイアグラムを左に示す。

4. 考察

4.1 場所変化

花折断層と安曇川が合流している部分（図1のHNO～ARK）で、イオン濃度が全般的に増加していることから、安曇川の水質形成に花折断層が寄与していることが示される。ただし、当初想定していた、Na-HCO₃型の温泉水の付加ではなく、NO₃⁻を除く各イオンが全般的に増え、特にCa²⁺とHCO₃⁻の濃度が増えた。花折断層付近の温泉では、北部の1点（図2のKTKS）で湧出するものの水質がNa-HCO₃型とわかっているだけなので、それより南部のHNO～UMN付近ではCa-HCO₃型の温泉水があるのかもしれないし、Ca-HCO₃型の浅層地下水が、花折断層と安曇川の合流部でより多く供給されているのかもしれない。

NO₃⁻濃度については、KTG地点で高かったのは、河川水がほとんど流れていない状況であったので生活排水等の人為的な影響が出やすかった事が理由として考えられる。ARKで高かったのは、ARK付近で認められる花折断層の分岐断層（DOKENSAN F.）の寄与と、人為的な要因の両方が考えられる。HNJで低かった事についての理由はよくわからない。

4.2 時間変化

2018年4月～8月の期間では、RYD・HRS・ADG・KTGでの水質のタイプは、Ca-HCO₃タイプであった。他方、1996年～1998年に、ADGで水質測定を行った結果では、Ca-HCO₃型からNa-HCO₃型やNa-Cl型に

時間変化する傾向が認められた (図 5)。2018 年 4 月～8 月という期間は、1996 年～1998 年の 2 年間に比べて短い。2018 年 10 月以降も約 1 ヶ月間隔で同様の調査を安曇川で継続しているの、サンプリングした河川水の分析を行い、1996 年～1998 年に生じた水質の変化が再び生じるかどうかを確認する予定である。

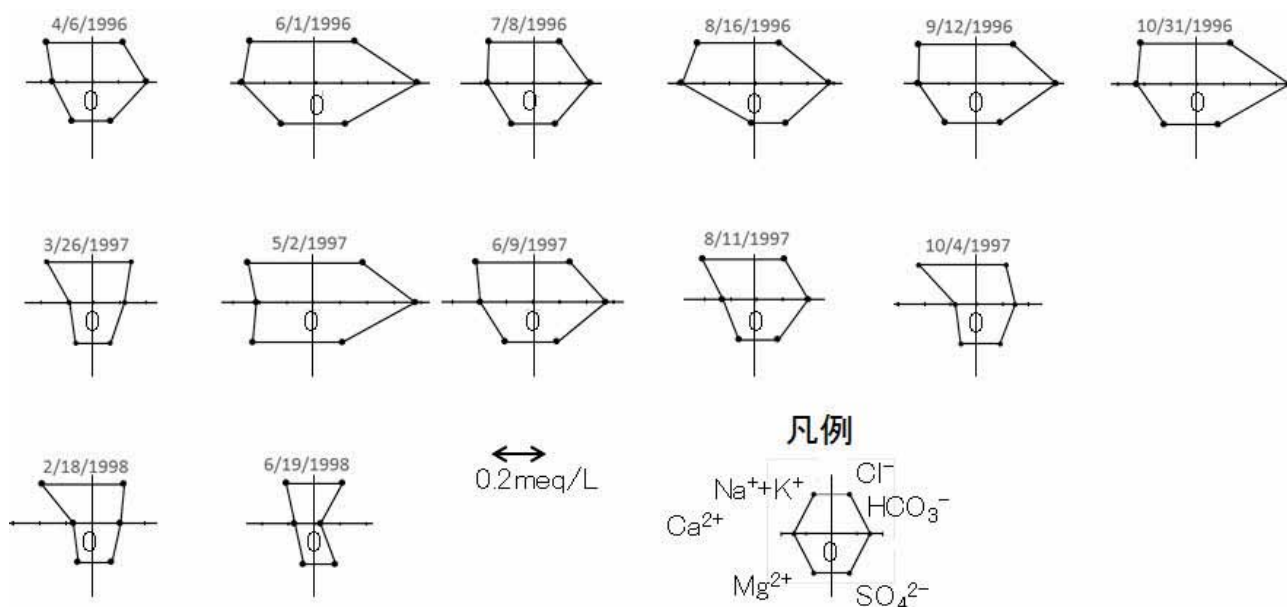


図 5 ADG での 1996 年 4 月～1998 年 6 月の安曇川の水質。ヘキサダイアグラムの上部の数字はサンプリングした日付。

NO_3^- 濃度については、多雨期に増えるという他のイオンとは異なる変化が認められた。日本の河川ではこのような例は多く観測されており (Ohte et al., 2001), 窒素飽和した森林 (Aber et al., 1989) から降水時に NO_3^- が河川に供給されるということで説明されている。 NO_3^- については、人為的な要因に加え、このような要素も考慮する必要がある、他イオン濃度と挙動が異なる理由と考えられる。

5. まとめ

2018 年 8 月の少雨期に、安曇川全体での水質の場所的变化を調べた所、安曇川で花折断層沿いに水質の変化が認められた。しかし、水質変化の原因は、当初想定された断層経由の Na-HCO_3 型の温泉水によるものではなく、 Ca-HCO_3 型の水が関与していると考えられる。琵琶湖西岸断層の安曇川への水質の寄与は確認されなかった。

2018 年 4 月～8 月の期間で、安曇川下流の河口付近の水質は Ca-HCO_3 型で大きな変化は無かった。ただし、1996 年～1998 年の時点では、 Ca-HCO_3 型から Na-HCO_3 型や Na-Cl 型に変わっていたという事実があり、今後も調査を継続する予定である。

NO_3^- 濃度については他イオン濃度と違う挙動を示しており、人為的な汚染や窒素飽和した森林からの供給といった要因が影響していると考えられる。

6. 謝辞

高島市の住民の皆様には現地調査の際に協力していただいた。現地調査やサンプリングした水の分析については、滋賀県立大学環境科学部環境生態学科の学生諸君に協力していただいた。また、同学科の尾坂兼一博士との議論は非常に有益であった。以上の方々に感謝の意を表します。

参考文献

- Aber, J.D., K.J. Nadelhoffer, P. Steudler and J.M.Melillo, 1989, Nitrogen saturation in northern forest ecosystems, *BioScience*, 39, 378-386.
- 琵琶湖流域研究会, 2003, 琵琶湖流域を詠む(上), サンライズ出版, 269pp.
- Domenico, P.A. and Schwartz, F.W., 1990, *Physical and Chemical Hydrogeology*, John Wiley and Sons, Inc., 824pp.
- Faulkner, D.R., C.A.L. Jackson, R.J. Lunn, R.W. Schlische, Z.K. Shipton, C.A.J. Wibberley, M.O. Withjack, 2010, A review of recent developments concerning the structure, mechanics and fluid flow properties of fault zones, *J.Struct.Geol.*, 32, 1557-1575.
- 地震調査研究推進本部, 2003, 三方・花折断層帯の長期評価, https://www.jishin.go.jp/main/chousa/katsudansou_pdf/73_mikata_hanaore.pdf, 2019年2月確認.
- 地震調査研究推進本部, 2009, 琵琶湖西岸断層帯の長期評価(一部改訂), https://www.jishin.go.jp/main/chousa/katsudansou_pdf/65_biwako-seigan_2.pdf, 2019年2月確認.
- 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, *京都大学防災研究所年報*, 29B-1, 59-66.
- 小泉尚嗣・三谷寛人・植田雅大・箕手慎介・田中達也, 2018, 滋賀県高島市周辺の花折断層・琵琶湖西岸断層付近の温泉水・河川水・湧水について, 湖底断層キックオフワークショップ報告書, <http://hdl.handle.net/11355/376>, 2019年2月確認.
- 国土地理院, 2019, 地理院地図, <https://maps.gsi.go.jp/>, 2019年2月確認.
- 国立環境研究所, 2019, 公共用水域の水質測定結果データの説明(測定項目について), https://www.nies.go.jp/igreen/explain/water/sub_w.html, 2019年2月確認.
- 見野和夫・平野憲雄・貞広太郎・西村進・茂木透, 1985, 北陸地域何部の活断層(1), *地震* 2, 38, 571-576.
- 日本地下水学会(2011), 水質に関する説明, <http://www.jagh.jp/content/shimin/images/wakimizu/20111002/suishitu.pdf>, 2019年2月確認.
- Ohte, N., M.J. Mitchell, H. Shibata, N. Tokuchi, H. Toda and G. Iwatsubo, 2001, Comparative evaluation on nitrogen saturation of forest catchments in Japan and northeastern United States. *Water, Air, & Soil Pollut.*, 130, 649-654.
- 産業技術総合研究所, 2019a, 活断層データベース, https://gbank.gsj.jp/activefault/index_gmap.html, 2019年2月確認.
- 産業技術総合研究所, 2019b, 20万分の1日本シームレス地質図, https://gbank.gsj.jp/activefault/index_gmap.html, 2019年2月確認.
- 滋賀県, 2018, 琵琶湖ハンドブック改訂版, 琵琶湖と河川, http://www.pref.shiga.lg.jp/biwako/koai/handbook/files/handbookkaiteiban_119.pdf, 2019年2月確認.