

断層帯周辺における地下水の 化学組成及び同位体比

北 裕一郎

阪神淡路大震災など日本は世界的に見ても有数の地震国であり日本各地には無数の活断層が走っている。このため地震を起す活断層については多くの研究がすすめられている。しかし、これらの多くは地質学や地球物理学的な研究であり化学的な研究は少ない。岐阜県北部を走る活発な活断層である跡津川断層系列に属する断層の一つに^{もずみすけのぶ}茂住祐延断層がある。1996年に茂住祐延断層を貫くように断層調査坑道が掘削された。断層を貫く断層調査用の坑道は世界で初めてのものである。この断層調査坑道では地球物理的・地質学的研究に加えて化学的手法による周辺での地下水の調査が行われている。そこで本研究では1997年から1999年まで村田(1998)・林(1999)・北(2000)によって行われた調査のあとを受け地下水の水質・同位体の変化を長期に渡って観測し断層帯における5年間に渡る地下水の流動状況の変化を見ることを目的とした。このような断層帯における5年間に渡る長期観測は世界的に見ても例のないものである。

地下水試料は、2000年1月から2001年8月までほぼ毎月、神岡鉦山茂住地区の長棟坑道壁面から8ヶ所、断層調査坑道の壁面から10ヶ所、ボーリング坑から8ヶ所採集した。また調査坑道地表部を流れる茂住谷川の水も採集した。採集した試料は、現地で水温を測定し、研究室においてpH、溶存化学成分(Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , F^- , Cl^- , SO_4^{2-})をイオンクロマトグラフで分析した。また、水の水素・酸素安定同位体比(D , ^{18}O)を質量分析計で測定した。その他に、地下水の年代を調べる為にトリチウム(^3H)及び溶存炭酸の ^{14}C 濃度測定も行った。また、地下水中溶存硫酸イオンの硫黄同位体比(^{34}S)についても測定した。

地下水中溶存成分のNa濃度とCa濃度は地点によって濃度範囲がそれぞれ100から5000 μeq と10から5000 μeq と幅が広く、Na/Ca比(当量比)も0.04から100まで幅広い値をとった。この地点ごとの水質の違いは地下水と岩石・断層粘土との反応による影響の大きさによると思われる。地下水は地表付近の生物活動によって放出された CO_2 が溶け込み生じた H_2CO_3 が、岩石中の CaCO_3 を溶かしCaに富むCa- HCO_3 型の水になる。その後、長石の風化によるNaの溶脱や地下水中のCaとNa粘土鉱物とのイオン交換によってNaに富んだNa- HCO_3 型の水に変化する。このような反応から岩石-水反応の反応が進んだ水ほどNa/Ca比は高くなる。調査坑道30m・80m・413m・418m・480m地点ではNa/Ca比が毎月徐々に減少している。その減少量は、破碎帯周辺の調査坑道80m地点で3年

半で 20 から 10 へ、調査坑道 480m 横穴で 2 年間で 6.5 から 3.5 と様々である。

また、長棟坑道 1500m 地点では 1999 年 12 月から 1 月の間に 50 から 20 へ大きく減少した。また、断層と交差する調査坑道 252m 地点では 1997 年から 2000 年 1 月までは徐々に 20 から 7 へ下がっていたものがその後は徐々に上昇して 20 近くになった。徐々に下がる Na/Ca 比は断層粘土のイオン交換能力の低下で説明されている。(北、2000) しかし、このように急激な Na/Ca 比の変化が見られたということは、急激に地下水の流路の変化が起き、断層粘土との反応時間が変わったことが考えられる。

水の酸素・水素安定同位体比を見てみると、長棟坑道の 1345m から 1500m 地点では 1998 年は $D=8 \text{ }^{18}\text{O} + 20$ の天水線に沿って分布していたが、その後 $D=8 \text{ }^{18}\text{O} + 30$ の方向へと変化している。変化量は、 ^{18}O で最大 1.3‰、D で 3‰であった。これは、1997-98 年に湧出していた地下水は地下に長期滞留していた為に岩石との反応が進み、岩石中の ^{18}O が多く付加され ^{18}O が上昇する ^{18}O シフトが起きていた。やがて調査坑道の掘削などにより地下水の流動が早まり、 ^{18}O シフトが起きていない地下水に置き換わっていると考えられる。しかし、地下水の d 値(天水線の切片)は 1998 年の $d=20$ から $d=30$ 方向へ移動している。実際、北陸では夏の降水は d 値が 10 で、冬季は 30 となる季節変化を示すが、地下水では 20 でほぼ一定である。(水谷・佐竹、1997) このように冬季の影響の強い同位体比の方向へ年々移動しているこれらの地点では、冬季の降水によって大きく涵養されるような機構が活断層周辺にはあるのかもしれない。その例としては、冬季の積雪における定常的で高圧な環境からの涵養である。

地下水の年代を示すトリチウム・ ^{14}C の測定では長棟坑道で現在の降水に近い 5-7TU の高いトリチウム濃度を示した。 ^{14}C 濃度が 20 から 40pMC と低い 2 TU ほどのトリチウムを含んでいる調査坑道 30m・480m 横穴・先進 1 地点では、古い水と新しい水が混合している事がわかった。断層周辺では断層によって地下水の帯水層が寸断されたり、断層の破碎部を通過しての地下水移動などが起きるため地下深部の古い水と地表付近の新しい水が複雑に混合している。

このように、地下水質の長期観測により断層周辺では地下水の流動系が一ヶ月以内という極めて早い期間内に変わる事が観測され、それが数ヶ月以内に元の流動系に戻る場合や、新しい流動系のまま長期間保たれるなどの複雑な流動をしていることが判明した。断層帯では、断層運動で岩盤に生じた歪によって岩石の破碎や変形が起こり、水の流路が頻繁に変わることが長期観測結果から明らかになった。この先、自動測定装置等を使い測定間隔をさらに密にする事により断層帯での、ラドン濃度や地震活動との対応が可能となるであろう。