

1. 研究背景・目的

山地流域は水資源の涵養域として重要な役割を果たしている。山地流域の流出特性は、地質や地形、土壌、降水量、植生等により、強く影響を受けるが、特に、山体の地下水流出に関しては、地下の特性である地質条件が最も大きな要因となるものと考えられる。山体の流出プロセスに関して、無降雨時の基底流のみならず、降雨流出に対しても地下水が重要な役割を持つとされ、地下の特性となる地質構造の差異により流出特性が異なることが明らかにされてきた。また、流出特性等から、山体の貯水能力についても議論されており、地質ごとに、第四紀火山岩類、花崗岩類、第三紀火山岩類で高く、第三紀層、中生層で低いと一般的に言われている。しかし、これらは流量観測による量的な指標であり、更新時間といったトレーサー的な積算情報は考慮されていない。一方で、山地流域にどれだけの水が貯留されており、その水がどれだけの時間をかけて更新されるのか、という基本的な情報は、水文プロセスの研究として重要なパラメータであるのみならず、水資源を適切に管理、保全していく上での基礎情報としても重要である。日本の山地流域において、近年ではフロン類や六フッ化硫黄等のトレーサーを用いて、地下水の更新時間、すなわち滞留時間を推定した研究が蓄積されつつあるが、第四紀火山岩地域で多く、異なった地質から成る流域における滞留時間の研究例や、時間を考慮した上で地下水貯留量を推定した研究例は少ない。

そこで本研究では、地質条件の異なる複数の湧水を対象として、フロン類等を用いて複数の湧水の平均滞留時間を求めるとともに、その値を用い、湧水の背後にある実際の水文学的な流域における山体地下水の貯留量を同定することで、各地質における水文プロセスを明らかにすることを目的とした。

2. 研究方法

中部山岳域である山梨県北西部、富士川水系釜無川が流れる、武智川から曙川に至る総延長約60 kmの支流流域において、古生層、花崗岩、第三紀層の3つの異なる地質から成る流域面積が約2.5~65.7 haの源流域を対象とし、複数の湧水地点において採水を行った。調査期間は、広域において、2011年3月から2013年5月の計6回、最大で21地点の湧水を対象に、花崗岩の小流域において、2013年9月に湧水16地点、河川水12地点を対象に行った。現地では、水温、pH、電気伝導度、酸化還元電位、流量（2012年8月から2013年9月のみ）を測定し、また水試料を採水し、溶存成分や安定同位体比、フロン濃度分析を行った。

3. 結果と考察

無機溶存成分に着目すると、古生層では $Mg-HCO_3$ 型、花崗岩では $Na \cdot K-HCO_3$ 型、第三紀層では $Ca-HCO_3$ 型が卓越した。これら地質による水質の違いは、岩石に含まれる鉱物や溶解速度の違いによるものであると考えられる。また、花崗岩の小流域に着目した調査では、神宮川本流に沿ったリニアメントを境に、本流の北側では $Na \cdot K-HCO_3$ 型、南側では $Ca-HCO_3$ 型により水質が特徴付けられた。

各湧水地点の酸素同位体比は、採水地点の標高が高いほど低く、標高が低いほど高くなり、100 mあたり-0.33‰で、先行研究の降水から得られた-0.37‰の高度効果とおおむね一致していた。次に、湧水の涵養域について検討した。実際の水文学的な集水域がほぼ特定できると判断される4地点を選び、風早ら（1999）の方法に基づいて、それらの地点と最大標高との中間標高を線形回帰した直線を、当地域における水文学的な涵養線とした。一部の花崗岩下流域では、地形的な最大標高よりも涵養線から想定される涵養標高が高く、地形的流域界を越えてより高い標高から涵養が生じていると考えられた。

フロン類を用いて湧水の平均滞留時間を推定した結果、花崗岩地域では約 11~60 年、古生層では 17~32 年、第三紀層では 13~26 年であった。特に花崗岩地域では、各地点における年代幅が空間的に

も時間的にも大きい傾向がみられた。安定同位体比の値を考慮すると、これらの地点では地形的流域界を越えた地下水流動が存在するため、地下水流動経路が長くなり、滞留時間も長くなるものと思われる。花崗岩小流域に着目すると(図1)、滞留時間の長い湧水は、比較的、安定同位体比が低い傾向がみられ、水文学的流域がより上流の高標高域に及んでいることが考えられた。

一定期間の水文学的な定常状態を仮定して、滞留時間と基底流量、すなわち地下水涵養量の積から、それぞれ湧水の水文学的流域における地下水貯留量の算定した。その結果(図2)、流域面積が大きく、地下水涵養量が多い流域で、地下水貯留量が多い傾向がみられた。地質ごとにみると、花崗岩地域では $10^4 \sim 10^6 \text{ m}^3$ 、古生層で $10^5 \sim 10^7 \text{ m}^3$ 、第三紀層で $10^4 \sim 10^6 \text{ m}^3$ と推定され、古生層、第三紀層、花崗岩の順に貯留量が小さい傾向であった。また、同一地点における地下水貯留量の季節変動は、花崗岩地域で大きい傾向がみられた。

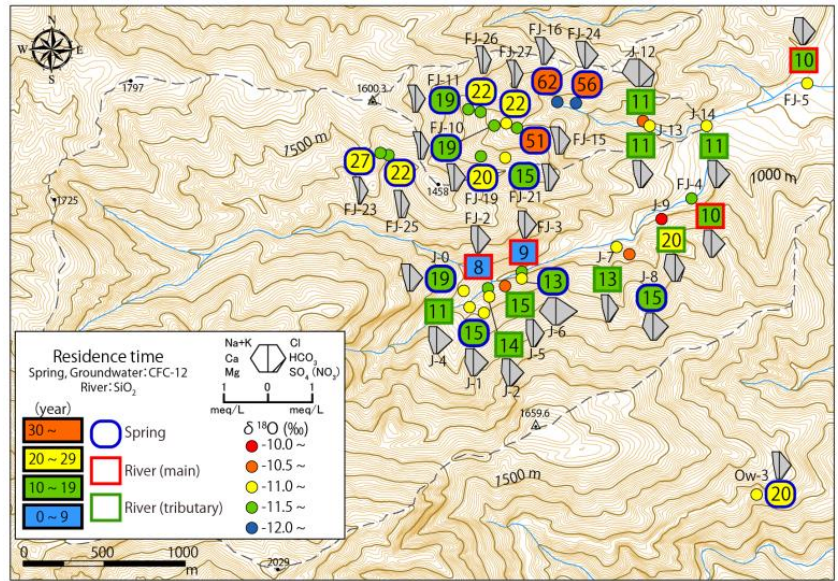


図1. 花崗岩小流域における湧水・河川水の滞留時間、 $\delta^{18}\text{O}$ 、溶存成分の空間分布

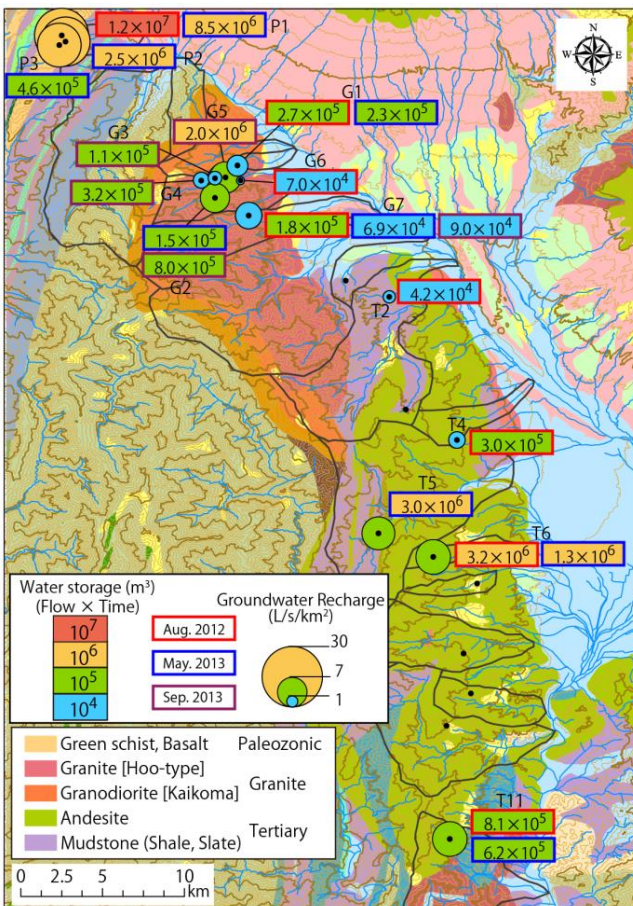


図2. 湧水の水文学的流域における地下水涵養量、貯留量の空間分布

4. まとめ

花崗岩地域においては、比較的小規模な地下水流動系と大規模な流動系から成るため、水文プロセスが時空間的に大きく変動するものと考えられた。一方、半固結堆積岩や火成岩から成る第三紀層では、透水性が高いため、比較的滞留時間が短く、また発達した亀裂を持つ古生層では、地下水涵養量が大きいため、地下水貯留量は大きくなると考えられた(図3)。

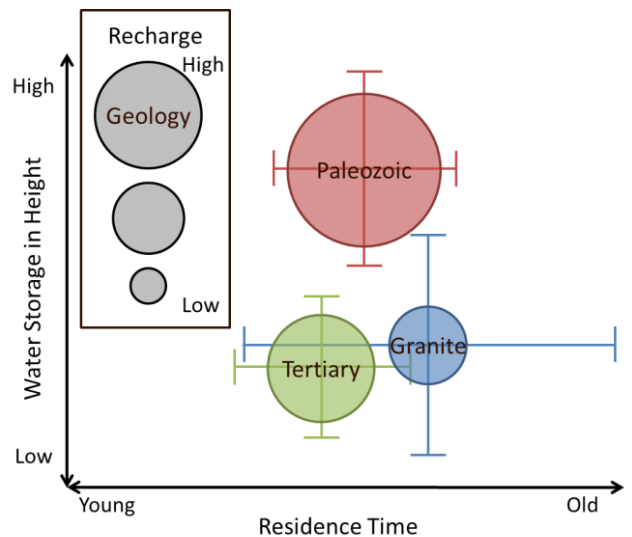


図3. 地下水の滞留時間、貯留量により整理された各地質の水文特性を示す模式図