

# 風化花崗岩山地斜面における岩盤地下水の水位変動および水質特性

○ 藤本将光・小杉賢一朗・桂真也・加藤弘之・水山 高久（京大院農）

## 1.はじめに

近年，森林流域における流出機構において，岩盤内の水移動が重要な役割を担っていることが示されてきた。しかし，岩盤内における水の移動過程及びそれに伴う水質形成機構を研究した例は少なく，依然としてその役割には不明な部分が多い。そこで，本研究では，森林斜面において岩盤内まで掘削したボーリング孔における水文水質調査を行うことで，岩盤地下水の水移動過程および水質特性を明らかにすることを目的とする。

## 2.方法

観測は兵庫県六甲山系の西おたふく山流域（1.87 ha）において行われた。基岩地質は風化花崗岩で平均勾配は 35°である。流域内の谷筋に沿った4地点（A～D）にて，土層内に設けた観測井戸内の水位及び温度を計測した。また，8地点においてボーリング調査を行い，井戸内の水位と水温を計測した。さらに，林外雨，土壌水，観測井戸における地下水，流域末端（E）の湧水を採取した。水質の分析項目は，無機イオン（イオンクロマトグラフィ法）， $\text{SiO}_2$ 濃度（モリブデンイエロー法）である。

## 3.結果と考察

### 3.1 岩盤地下水の水位変動

ボーリング孔の水位変動の観測結果から，岩盤地下水の水位変動は3タイプに分類されることが明らかになった（図1）。1つ目のタイプ（R1，R1n）は，降雨に対して水位が比較的早く応答することが認められた。2つ目のタイプ（R1D，R2，R2n，R2e）は，個々の降雨に対する水位変動は認められず，長期にわたる緩やかな水位変動を示した。ただし，R2n孔では，降雨に対する鋭敏な応答も認められた。3つ目のタイプ（R2e，R2w）は，タイプ1とタイプ2の両者の特徴を持ち，降雨に対するすばやい応答と緩やかな応答が組み合わさった水位変動を示した。また，2つ目のタイプの水位変動はC点における土層内の水位変動，流域末端（E）の湧水の流出変動と良い対応を示した。

### 3.2 岩盤地下水の水質とその決定要因

岩盤地下水の水質成分は空間的に大きなばらつきを示した（表1）。特に，R2n孔の $\text{Na}^+$ やR2s孔の $\text{Ca}^{2+}$ が高濃度を示し， $\text{NO}_3^-$ 濃度は空間的なばらつきが大きいことが認められた。また，水位変動から分類された3つのタイプとの関係は見られなかった。ここで，岩石の風化反応によって溶出する陽イオン組成から岩盤地下水を区分した。図2に全イオンに対する $\text{Ca}^{2+}$ ， $\text{Mg}^{2+}$ の当量比の関係を示す。R2s，R2n孔を除く岩盤地下水が比較的近い範囲にプロットされた。また，斜面下方の岩盤地下水，土層内地下水（C），流出水（E）の $\text{Ca}^{2+}/\text{T.C.}$ が高い傾向を示した。特に，R2s孔は

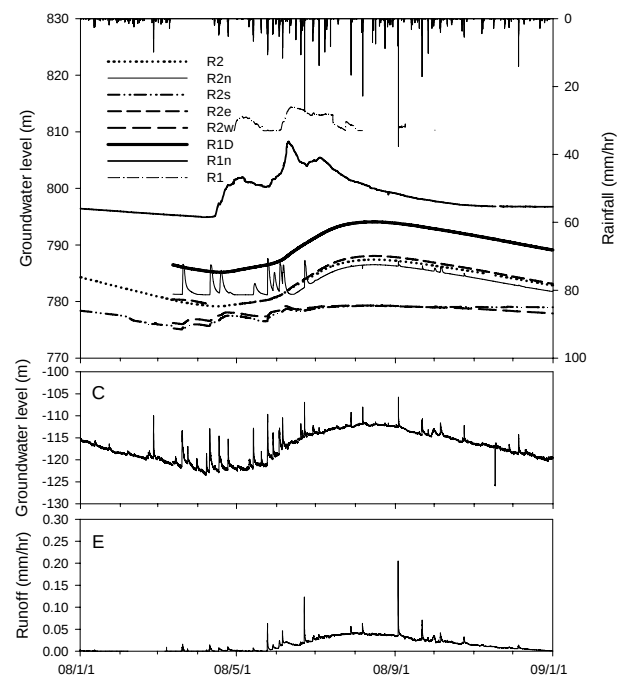


図1.ボーリング孔，土層内井戸（C），の地下水位及び流出量（E）の変動

表 1. ボーリング孔，土層内井戸の地下水，流出水の水質 (mg/l)

|     | Na <sup>+</sup> | K <sup>+</sup> | Mg <sup>2+</sup> | Ca <sup>2+</sup> | Cl <sup>-</sup> | NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> | SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> | SiO <sub>2</sub> |
|-----|-----------------|----------------|------------------|------------------|-----------------|------------------------------|-------------------------------|------------------|
| R1  | 6.62            | 0.38           | 0.50             | 3.84             | 5.50            | 8.47                         | 2.49                          | 14.65            |
| R2  | 6.84            | 0.41           | 0.82             | 6.74             | 5.85            | 5.59                         | 5.27                          | 19.77            |
| R2n | 20.89           | 0.95           | 0.53             | 3.21             | 6.27            | 16.82                        | 7.60                          | 14.38            |
| R2s | 7.53            | 0.37           | 1.02             | 11.20            | 6.36            | 6.88                         | 7.65                          | 22.49            |
| R2e | 7.24            | 0.49           | 0.58             | 4.36             | 7.27            | 0.57                         | 5.25                          | 17.61            |
| R2w | 6.79            | 0.49           | 0.70             | 4.89             | 7.45            | 1.63                         | 6.08                          | 17.36            |
| R1D | 7.16            | 0.43           | 0.54             | 4.08             | 5.71            | 2.17                         | 4.53                          | 18.72            |
| R1n | 8.71            | 0.48           | 0.61             | 4.48             | 7.42            | 2.74                         | 6.12                          | 18.08            |
| C   | 7.60            | 0.24           | 0.89             | 5.37             | 5.87            | 4.49                         | 4.63                          | 21.26            |
| E   | 6.66            | 0.19           | 0.86             | 7.05             | 5.57            | 3.33                         | 5.34                          | 19.91            |

Ca<sup>2+</sup>/T.C.が高く，Ca<sup>2+</sup>の含有率が高かった(図2)。また，ボーリング孔の地下水面が地表に近いR2，R2s孔では，Ca<sup>2+</sup>濃度が高く(R2，R2s孔)，地下水面が深い岩盤地下水のNa<sup>+</sup>濃度が高くなる傾向を示した。White et al.(1999)は，岩石の浅部と深部では岩石の風化溶解反応が異なることを示した。本観測地では，ほとんどの岩盤地下水がCa<sup>2+</sup>，Mg<sup>2+</sup>の当量比の関係が同様であったことから，岩石の化学的風化反応に大きな違いは見られないと考えられるが，地表面からの深さの違いによって岩石の風化過程が異なることが示唆された。また，斜面下方の土層内

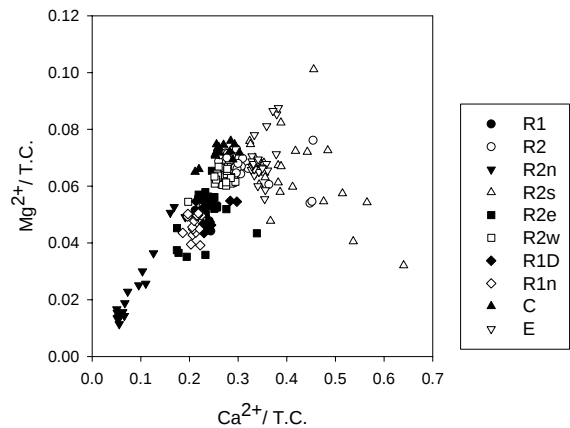


図2 Ca<sup>2+</sup>とMg<sup>2+</sup>の関係

地下水や流出水は地下浅部と深部を通過した水の混合によって，Ca<sup>2+</sup>の含有率が高くなることが考えられる。

R2n孔はCa<sup>2+</sup>の含有率が低く，Na<sup>+</sup>の含有率が高かった。また，R2n孔は降雨に対するすばやい応答を示し，岩盤内に存在する亀裂を通じたすばやい水移動が存在すると考えられる。一般に，亀裂内には風化産物の粘土鉱物が存在することから，R2n孔では粘土と貯留された地下水が長時間接触することによって，陽イオンの交換反応が進行し，Na<sup>+</sup>が高濃度となることが考えられる。

#### 4.まとめ

六甲山における岩盤内の地下水位の変動は3つのタイプに分類された。岩盤地下水の水質は，大きなばらつきを示し，水位変動のタイプとの対応関係は見られなかった。岩盤地下水の水質は空間的なばらつきを示したが，基岩の風化反応によって説明された。地表面と地下水面の距離の違いによる岩石の化学的風化過程の違いや岩盤の亀裂に存在する粘土における陽イオン交換反応が局所的な水質の違いを生じさせていることが示唆された。

参考文献 White et al. (1999) The role of disseminated calcite in the chemical weathering of granitoid rocks. *Geochim.Cosmochim.Acta*, 63, 1939-1953.

(問い合わせ先：藤本将光 [fuji@kais.kyoto-u.ac.jp](mailto:fuji@kais.kyoto-u.ac.jp))