

溶存物質濃度の主成分分析による地下水流動の解析

国立研究開発法人土木研究所 雪崩・地すべり研究センター ○金澤瑛、丸山清輝、石田孝司
京都大学大学院農学研究科 小杉賢一朗、勝山正則、正岡直也、木治佐保

1. はじめに

表層・深層崩壊や地すべりなど斜面内の地下水に起因する土砂災害の発生を予測するためには、斜面内の地下水の挙動を把握することが重要である。しかし、斜面内の地下水流動は、地形や地質構造により複雑に規定されていることから、その全体像を的確に把握することは困難である。そこで本研究では、斜面内の地下水流動方向を把握することを目的に、山体全体に多数のボーリング孔がある流域においてボーリング孔内地下水の一斉採水を実施し、採水試料の溶存イオン濃度の特徴から山体地下水の流動方向を解析したので、その結果を報告する。

2. 調査地概要、方法

試験地(図-1)は滋賀県甲賀市に位置し、基岩地質は中生層堆積岩である。直前に降雨のない2017年11月5日に、試験地内5流域(C、D、E、F、G流域)にある97本のボーリング孔で採水を行った。なお、採水したサンプル名は、ボーリング孔位置を示す英数字(浅い方からT、S、M)で区分されている。採水したサンプルは、イオンクロマトグラフにより溶存イオン(Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 NO_3^-)の濃度を分析した。

各採水サンプルの溶存イオン濃度の特徴から地下水の流動状況を解析するため、全ボーリング孔の7種の溶存イオン濃度を入力変数とした主成分分析

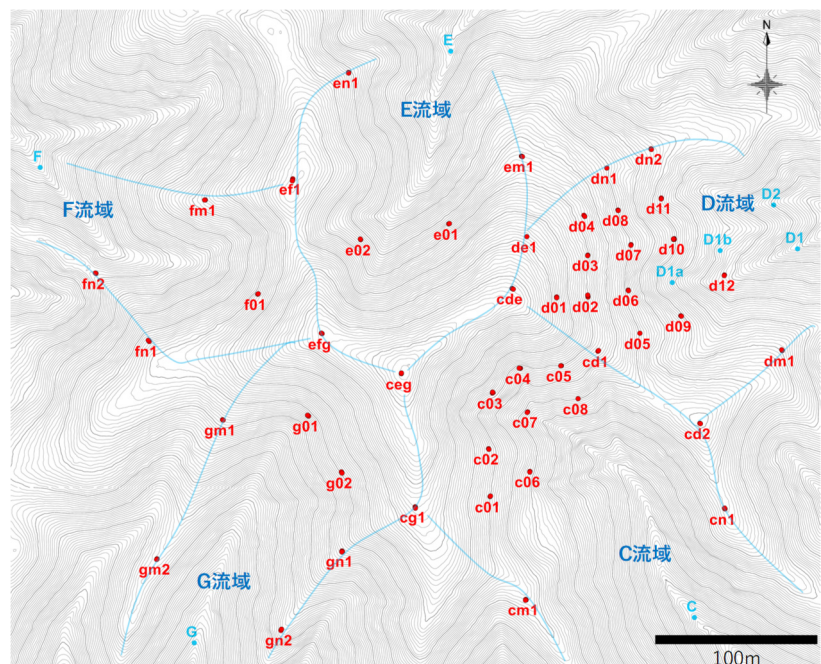


図-1 試験地のボーリング孔位置

を行った。次に、主成分分析の結果を用いて試験地内で最も標高の高い位置にあるボーリング孔 ceg と ceg 近傍のボーリング孔(c02、c03、c04、cde、e01、e02、efg、g01、g02、cg1)の水質の類似性を比較し、水質の類似性が高いほど同様の流動層を流れているとの仮定の下 ceg の地下水の流動方向を推定した。水質の類似性の検討では、主成分得点間のユークリッド距離を指標とした。

3. 結果と考察

表-1 に主成分分析によって求めた各主成分の固有値、寄与率、累積寄与率を示した。第3主成分までの固有値が1より大きいことから、第3主

表-1 主成分分析による固有値、寄与率、累積寄与率

	第1主成分	第2主成分	第3主成分	第4主成分	第5主成分	第6主成分	第7主成分
固有値	2.93	1.22	1.04	0.66	0.63	0.29	0.22
寄与率	41.88%	17.44%	14.92%	9.46%	8.94%	4.18%	3.18%
累積寄与率	41.88%	59.32%	74.24%	83.70%	92.64%	96.82%	100.00%

成分までを検討の対象とした。図-2 及び図-3 に第1主成分と第2主成分の因子負荷量の関係、第2主成分と第3主成分の因子負荷量の関係をそれぞれ示した。図-4 及び図-5 には、ceg と ceg 近傍のボーリング孔を抽出した第1主成分と第2主成分の主成分得点の関係、第2主成分と第3主成分の主成分得点の関係をそれぞれ示した。図-6 には、第1主成分得点と電気伝導度の関係を示した。図-6 より第1主成分得点と電気伝導度がほぼ線形の相関関係にあることから、第1主成分は溶存イオン濃度全体を表した指標であることが推察された。また、図-2 より第2主成

分は、正の方向に Na^+ と Cl^- が、負の方向に Ca^{2+} と NO_3^- が影響を及ぼす成分であり、図-3 より第 3 主成分は正の方向に特に Cl^- が、負の方向に Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} が影響を及ぼす成分がそれぞれの主成分であると判定された。次に水質の類似性を検討するため、図-4 及び図-5 に表された第 1～3 主成分までの主成分得点を三次元座標上に配置し、ceg_M (ceg 唯一のボーリング孔) の主成分得点座標から近傍ボーリング孔サンプルの主成分得点座標までのユークリッド距離を下記の式により計測した。ユークリッド距離の計測において主成分得点間のユークリッド距離が短いほど水質の類似性が近いと判断した。

$$Dx = \sqrt{(PC1x - PC1ceg_M)^2 + (PC2x - PC2ceg_M)^2 + (PC3x - PC3ceg_M)^2}$$

$\left\{ \begin{array}{l} Dx: \text{サンプル } x \text{ と } ceg_M \text{ との主成分得点間距離} \\ PC1x \sim PC3x: \text{サンプル } x \text{ における各主成分得点} \end{array} \right\}$

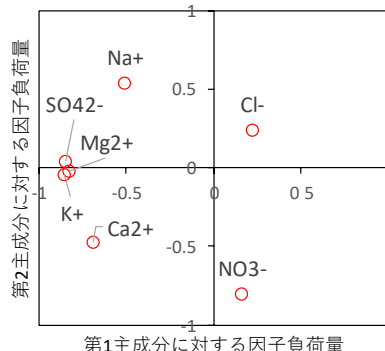


図-2 第 1 主成分と第 2 主成分の因子負荷量の関係

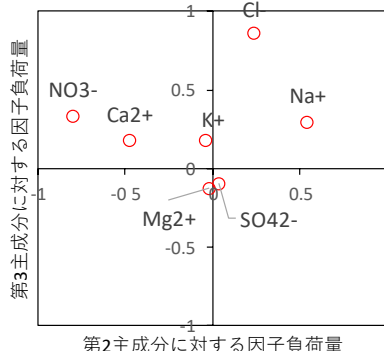


図-3 第 2 主成分と第 3 主成分の因子負荷量の関係

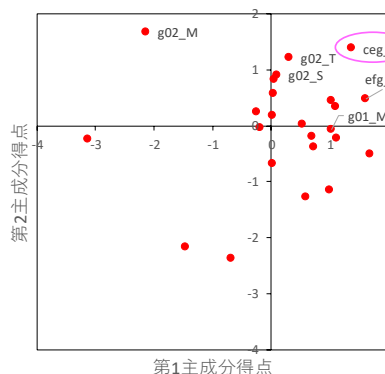


図-4 第 1 主成分得点と第 2 主成分得点の関係

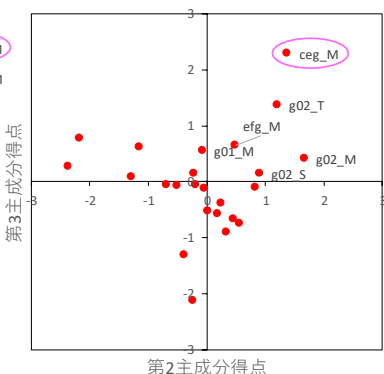


図-5 第 2 主成分得点と第 3 主成分得点の関係

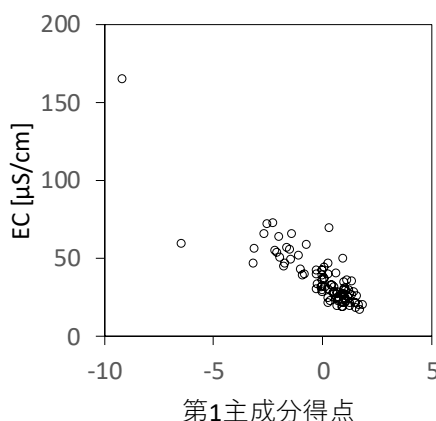


図-6 第 1 主成分得点と電気伝導度の関係

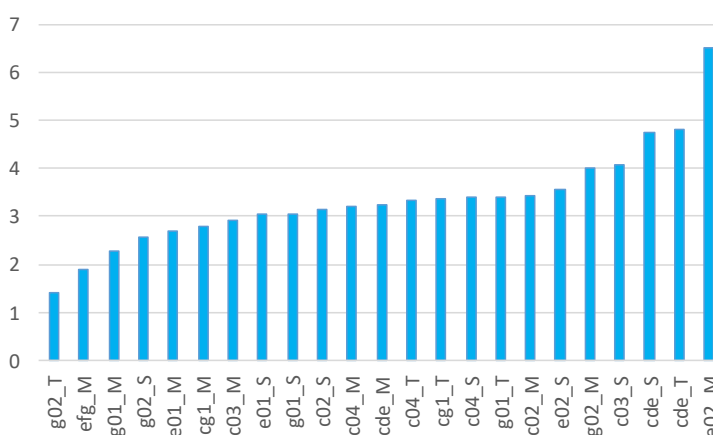


図-7 ceg_M との主成分得点間距離

図-7 に ceg_M から各サンプルまでの主成分得点間距離を示す。図-7 より g02_T、efg_M、g01_M の順に ceg_M との主成分得点間距離が短いことがわかった。よって、その順に ceg_M との水質の類似性が高いと考えられ、ceg_M の地下水は主として G 流域の方向に流れていることが示唆された。一方で、同じ g02 のボーリング孔でも g02_T や g02_S では距離が短いものの、g02_M との距離は長いことから、ceg_M の地下水が g02 方向では比較的浅層を流れていることが推察された。

4. おわりに

今後は、水質の類似性と併せて地形や地質、地下水位、各ボーリング孔間の距離と比較しながら、山体地下水の流動状況を把握する手法の検証を進めていく。