

P3. 怒田八畝地すべり地の地下水に関する主成分分析を用いた検討

A study using principal component analysis of groundwater in NutaYoune Landslide

○風見健太郎,木村隆行,和田佳記(エイト日本技術開発)

1. はじめに

地すべり地の地下水流動を把握することは、地すべり発生機構の解明につながるだけでなく、地すべり対策施設の機能診断にも役立てることが可能と考えられる。近年、地すべり地の地下水の水質分析や水質の変動特性に関する調査¹⁾が行われてきており、地すべり地の地下水は複雑な挙動を示すことが分かってきている。筆者ら^{2) 3)}は、これまで御荷鉢帯地すべり地の地下水特性を把握するために水質分析や自記 Ec 計の測定を行い、水質変動特性を把握してきた。本報告では、水質分析より得られるデータを用いた硬度-HCO₃⁻による地下水分類と主成分分析により、地すべり地の地下水水質特性により地すべりに寄与する地下水について検討を行った。

2. 水質分析

水質分析は湧水を含む表流水、代表的な対策工から排水される地下水を採水し、イオン分析による溶存量の定量分析を行った。イオン分析は Ca²⁺, Na⁺, K⁺, Mg²⁺の各イオンは原子吸光法, Cl⁻, SO₄²⁻, NO₃⁻の各イオンはイオンクロマト法, HCO₃⁻は赤外線分析法により測定を行い計 8 項目について水質分析を実施した。調査は降水期と渇水期に実施した。

3. 地下水分類方法

地下水分類は図-1 に示す硬度 (Ca²⁺+Mg²⁺) - HCO₃⁻方法にて行い、イオン当量、電気伝導度を加味し地下水分類を行った。地下水分類は (1) 表流水・浅層地下水, (2) 基盤面地下水 1, (3) 基盤面地下水 2, (4) 深層地下水に区分した。

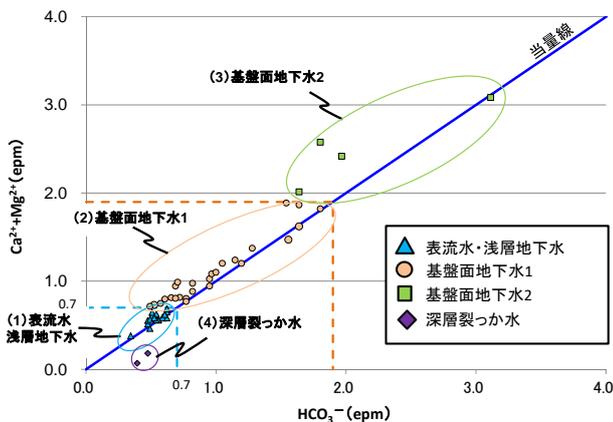


図-1 地下水分類結果

5. 主成分分析

主成分分析では、降水期、渇水期のイオン分析結果の主要成分 8 項目, pH, Ec の 10 のデータについて分散が最大となるような主成分を求め、寄与率の高い主成分について検討を行った。

(1) 各主成分

表-1 に主成分分析から得られた第 3 主成分までの固有ベクトル, 固有値, 寄与率を示す。表 2 に示すように第 2 主成分までで累積寄与率が 65%以上, 第 3 主成分までで累積寄与率が 80%以上となる。

表-1 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
固有値	3.956	2.553	1.496
寄与率	0.396	0.255	0.150
累積寄与率	0.396	0.651	0.801

図-2 に第 1 主成分得点と電気伝導度 (Ec) の関係を示す。図-2 より第 1 主成分得点と Ec は正の相関が認められ、第 1 主成分得点は水-岩石反応による地下水への溶出特性を示しているものと考えられる。

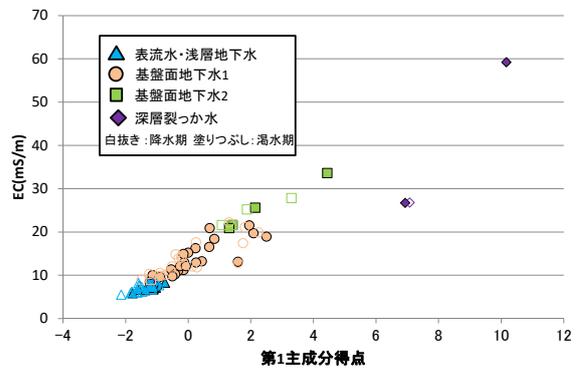


図-2 第 1 主成分得点と Ec の関係

図-3 に第 2 主成分得点の固有ベクトルを示す。第 2 主成分の固有ベクトルのうち Na⁺, K⁺, SO₄²⁻, pH は“-”を示している。Na⁺, SO₄²⁻, pH に着目すると深層裂つか水は Na-SO₄型であり、第 2 主成分は深層裂つか水の特徴を示すものと考えられる。

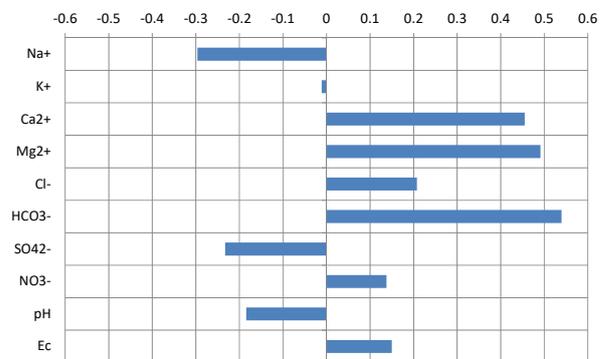


図-3 第 2 主成分の固有ベクトル

(2) 地下水特性の検討

水-岩石反応においては上述したように第 1 主成分, 第 2 主成分が関係していることから、図-5 に第 1 主成分得点と第 2 主成分得点の関係に整理した。

図-5 に示すように代表的な湧水である頂点 A を基準とし、全てのデータを包含する頂点 B, 頂点 C を求めた。それぞれ頂点を地下水の起源水として考えた場合、頂点 A は表流水・浅層地下水, 頂点 B は基盤面地下水 2, C は深層裂っか水の起源水として考えられ、本地すべり地の地下水は、頂点 ABC で包含される範囲で説明出来るものと考えられた。

表流水・浅層地下水は、水-岩石反応によるイオン成分の溶出が少ないため第 1 主成分得点が小さくなり、基盤面地下水 2 および深層裂っか水は、水-岩石反応によるイオン成分の溶出が多いため、第 1 主成分得点が大きくなる。第 2 主成分得点は、図-4 に示す固有ベクトルが深層裂っか水の特徴を示していること、深層裂っか水に含まれる Na^+ 成分は基盤面地下水 2 の Ca^{2+} のイオン交換によるもの⁴⁾もあると考えられることから、深層裂っか水と基盤面地下水 2 は正反対の位置関係となっていると推定される。

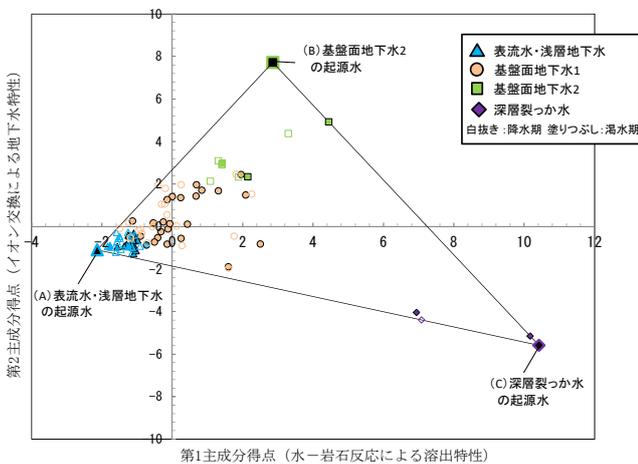


図-5 第 1 主成分得点-第 2 主成分得点の関係

(3) 地下水成分構成比の算出

図-5 に示す各成分の起源水から、各データまでの最短距離の逆比を求め、各成分の構成比を求めた。その結果、表流水・浅層地下水の構成比は図-6 に示すように電気伝導度と相関が見られ、深層裂っか水の構成比は図-7 に示すように pH との相関性が見られた。なお、基盤面地下水 2 の構成比については両者の差分より求めることが可能と考えられた。

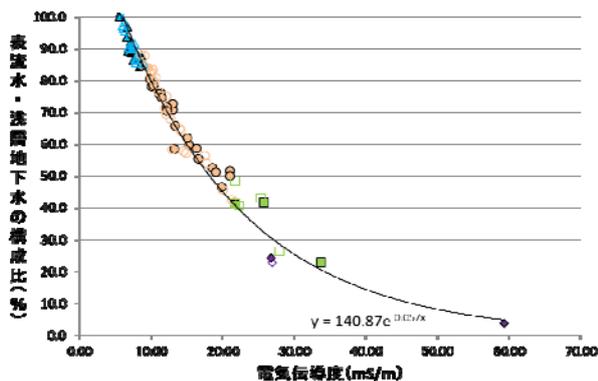


図-6 表流水・浅層地下水と電気伝導率

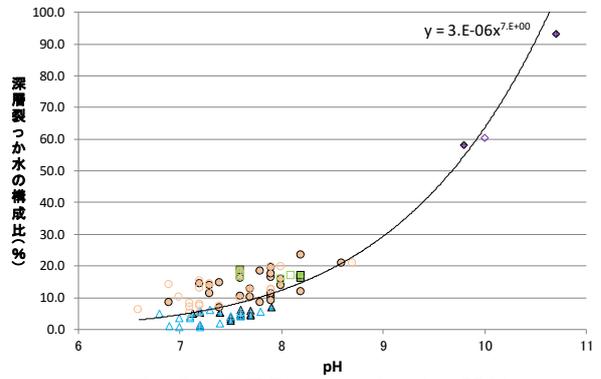


図-7 深層裂っか水と pH の関係

6. 地すべりに活動に寄与する地下水の検討

各対策工の排水流量に対する各地下水分類の割合を簡易水質結果 (pH, Ec) より推定した。図-8 に 1ha 当たりの基盤面地下水 2 に表流水浅層地下水 1/15 を加えた流量とブロックの平均移動量の関係を示す。表流水浅層地下水に分類される地下水が侵入することにより、基盤面地下水 2 に分類される地下水が押し上げられ、移動量が増したものと考えられる。

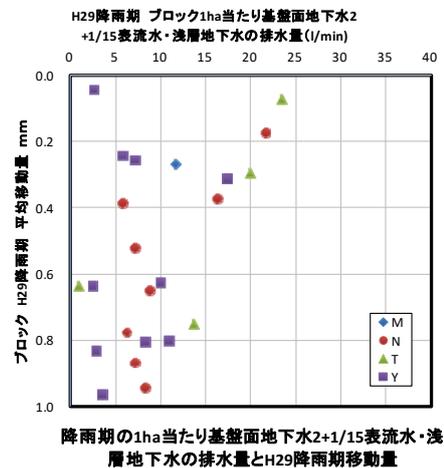


図-8 ブロック 1ha 当たりの基盤面地下水 2・表流水浅層地下水 1/15 を加えた排水量と各地すべりブロック平均移動量

7. まとめ

図-1 に示す地下水分類方法と主成分分析を組み合わせることで、現地の地下水は頂点 ABC を起源水とする三角形 ABC の範囲に分布し、その起源水は、表流水・浅層地下水、基盤面地下水 2、深層裂っか水と考えられた。また、各起源水から混入率を、pH と Ec から求めることで、地すべり変動が基盤面地下水 2 に分類される地下水が関与している可能性が示唆された。

【参考文献】

- 1) 地すべり変動に影響を及ぼす地下水, (公社) 日本地すべり学会, 2017.6
- 2) 五百木ら: 御荷鉾帯地すべり地の水質特性 (第 3 報), 第 56 回研究発表会, 2017.8
- 3) 木村ら: 御荷鉾帯地すべり地における地下水電導度の変動特性, 第 56 回研究発表会, 2017.8
- 4) 松村容一: 日本の温泉成分の特徴と起源, 化学と教育, 59 巻 8 号, 2011