

【研究テーマ】

福島県滝坂地すべり地の地下水に関する水文地質学的研究

【要旨】

福島県滝坂地すべりは、東北地方最大級の活動中の地すべりである。地下水排除の効果によって、近年の地すべり活動は沈静化している。大規模な地すべりの水文地質構造には未だ不明な点が多く、気候変動にともなう極端気象が地下水の動態に及ぼす影響を考察するためにも、水文地質構造の解明は喫緊の課題の 1 つである。本研究は、①統計解析による地下水の水質分類とそれらの特徴、②水-岩石相互作用に基づく各水質の形成機構、③地下水質の経年変化とその要因、④地下水の起源、⑤流量と水質変化の関係、を明らかにし、滝坂地すべり地における大局的な水文地質構造の解明を目的として行った。

本研究では、福島県滝坂地すべり地において、計 10 日間の現地調査を行い、水試料を採取した。採取した 116 個の水試料について、水質分析（主要イオン濃度： Na^+ 、 K^+ 、 NH_4^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 、 Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 HCO_3^- の測定・ Fe^{2+} や SiO_2 の濃度測定）を行った。内 54 個の試料について、酸素安定同位体比の測定を行った。また、5 つの試料について、SF6 による年代測定を行った。これらの水質データに鈴木 (2003)、相楽 (2005)、瀬戸 (2020MS) の水質データを加えて、合計 712 試料について多変量解析を行った。主成分分析により、固有値が 1.00 以上となる第 1～第 3 主成分を採用し、各試料についての主成分得点をもとに、非階層型クラスター分析を用いて水質を A～H の 8 つのタイプに分類した。

分類した水質タイプと地質の関係から、各水質タイプについて形成過程を考察した。基岩地質によらず風化土層では水質タイプ B、新鮮な花崗岩では水質タイプ C、泥岩の酸化前線以深では水質タイプ A と水質タイプ D、凝灰岩の酸化前線付近では水質タイプ A と水質タイプ D に加え、水質タイプ G、還元条件下の凝灰岩では水質タイプ E と水質タイプ F が形成されると考えられる。水質タイプ E と水質タイプ F は排水トンネルに特有の地下水であり、還元条件下にある地下深部の地下水である。排水トンネルの施工を機に多くの観測孔で地下水位が低下していることから、タイプ E やタイプ F に代表される深部地下水の排除は地すべり活動を効果的に抑制している可能性がある。

同一の観測孔もしくは排水トンネル内の同一のボーリング孔における水質の経年変化を検討した。近年 (2019 年もしくは 2023 年) と約 20 年前 (1998 年～2001 年) の両方のデータが存在するボーリング孔は 11 地点あった。検討の結果、観測孔には水質タイプの変化は見られなかった。対して、排水トンネル内のボーリング孔では水質タイプの変化が確認された。水質形成過程を考慮すると、風化の進行、あるいは地下水流動・水理条件の変化が水質の経年変化の要因と考えられる。地下水流動・水理条件の変化には、排水トンネルによる地下水排除の効果、すなわち地下水位の低下が影響している可能性がある。

本研究で得られた酸素安定同位体比の値は、北部排水トンネルにおいて地すべり地外の比較的高所で涵養した地下水の出現を指摘した瀬戸 (2020MS) のデータと比較して、大きな値を示した。このことは、今年度採取した地下水の大部分が地すべり地付近で涵養した水であることを示唆す

る。同位体比の値の変化の要因について、排水トンネルの効果による集水・流動経路の変化、もしくは調査・採取時期による同位体比の変動と推察している。

北部排水トンネルは流量の増加に伴って電気伝導度も上昇する特徴をもつことが瀬戸（2020MS）、堀（2021MS）によって報告されている。本研究では、連続降雨時の調査の際、それ以前の調査時に排水が確認できない、もしくは排水量が極端に少ない北部排水トンネル内ボーリング孔で、多量の排水が見られた。これらの電気伝導度は147.4～225 mS/mの範囲にあり、調査地内屈指の高い電気伝導度を示した。平時は排水のないこれらのボーリング孔から連続降雨時には高濃度の水が排水される現象について、メカニズムを解明するべく研究していく所存である。

【研究成果・まとめ】

- (1) 多変量解析により、1998年～2023年に採取された水試料712個が8つの水質タイプに分類された。
- (2) 分類した水質タイプと地質の関係から、各水質タイプについて形成過程を考察した。基岩地質によらず風化土層では水質タイプBが、新鮮な花崗岩では水質タイプCが、泥岩の酸化前線以深では水質タイプAと水質タイプDが、凝灰岩の酸化前線付近では水質タイプAと水質タイプDに加え、水質タイプGが、還元条件下の凝灰岩では水質タイプEと水質タイプFが形成されると考えられる。水質タイプEと水質タイプFはトンネルに特有の水であり、還元条件下にある地下深部の地下水である。
- (3) 排水トンネルの施工を機に多くの観測孔で地下水位が低下していることから、タイプEやタイプFに代表される深部地下水の排除は地すべり活動を効果的に抑制している可能性がある。
- (4) 約20年前と現在における水質タイプの経年変化が一部の地点で確認された。考察した水質形成過程から、岩石の風化の進行による水質変化、もしくは、地下水流動・水理条件の変化に起因している可能性がある。
- (5) 酸素安定同位体比の値が、先行研究と比較して大きな値を示した。これは、排水トンネルの排水に伴う集水・流動経路の変化、もしくは調査・採取時期による同位体比の経年・季節変動であると推察される。今後、検証の余地がある。
- (6) 北部排水トンネルは流量の増加に伴って電気伝導度も上昇する特徴をもつ。このことについて、平時は排水のないボーリング孔から、連続降雨時には高濃度の水が排水される現象を確認した。このメカニズムの解明に向けて研究していく所存である。

【参考資料（論文・学会発表など）】

- 1) 堀耕陽，2021MS，福島県滝坂地すべりににおける水文地質学的特徴 水収支による地下水の流出解析。新潟大学理学部卒業論文，1-43。
- 2) 相楽渉，2005，大規模地すべり地における地下水流動特性に関する研究。新潟大学博士論文，1-128。
- 3) 相楽渉・山邊康晴・佐藤修・大海寺勲，2003，大規模地すべりの地下水流動特性～福島県西会津町滝坂地すべりを例として～。日本地すべり学会誌，40，34-40。

- 4) 相楽渉・丸井英明・吉松弘行, 2005, 大規模地すべり地の地下水流動特性に関する考察～東北地方の第三紀層地すべりを例として～. 日本地すべり学会誌, **42**, 51-62.
- 5) 瀬戸朝香, 2020MS, 福島県滝坂地すべりにおける地下水の水文地質学的研究. 新潟大学理学部卒業論文, 1-56.
- 6) 鈴木将之, 2003, 地すべり地における地下水挙動の地球化学-福島県滝坂地すべり地を対象として-. 新潟大学博士論文, 1-124.
- 7) 鈴木将之・佐藤修, 2002, 同位体からみた福島県滝坂地すべり地における地下水の起源. 日本地すべり学会誌, **39**, 33-39.
- 8) 鈴木将之・佐藤修, 2003, 水質からみた福島県滝坂地すべり地における排水機構. 日本地すべり学会誌, **40**, 117-123.

研究助成採択者 清瀬莉花 (新潟大学理学部4年)