

地すべり対策に水質を利用した事例－2

－ 地すべり地での地下水涵養源の考察事例 －

○加藤俊典（農林水産省関東農政局長野西部農地保全事業所）

1. はじめに

地すべり地の地下水の流動形態は、複雑である。例えば、2次、3次地すべりの活動に関係するような表層近くの地下水は、地すべりブロック近傍で浸透した降雨、降雪が主な供給源になる場合が多いが、岩盤地すべりのような深い地すべりの場合に作用する深層地下水の供給源は、地すべりブロック近傍の流域のみならず、より広域的な地下水流動の影響を受ける場合がしばしば見られる。

地下水の流動経路や供給源の検討を行う際に、地下水の水質の特徴は、しばしば有益な示唆を与えてくれる場合が多い。例えば、溶存成分の違いは、地層中に浸透した地下水がその流動経路上にある地層との相互作用の結果が反映されている（つまり、どのような流動経路をたどってきたかの履歴書の役目を果たす。）。また、トリチウムなどに代表される放射性同位元素組成は、地下水の浸透時間（年齢）を示唆する場合が多い。

一方、安定同位体組成は、地下水の浸透流域についての履歴を表す場合が多い。

ここでは、長野西部農地保全事業地区内の塩本地すべり地で実施された、安定同位体組成分析を中心とした地下水の水質分析結果を利用して地すべり地の地下水の涵養源を考察を行った事例を報告する。

2. 調査方法

調査対象地は塩本区域のAブロック周辺斜面である。地下水・湧水の中から、6地点を選んで、酸素・水素安定同位体比（ $\delta^{18}\text{O}$ 、 δD ）

の分析を行った。また、調査対象地の近傍のより高標高部のため池とその近傍の浅層地下水の2カ所について同様の分析を行い、広域的な地下水の涵養状況の考察の参考とした。

そして、周辺の既存の溶存成分や農業工学研究所に委託したトリチウム濃度の分析結果と合わせて、調査地域の地下水の涵養源についての考察を試みた。

3. 同位体組成から見た地下水流域

調査結果から得られた当地域の地下水の水理地質と水質の模式的分類を表－1に示す。

この分析結果をもとに、安定同位体組成について、同位体組成の分布、採水地点の標高との関係などについての考察を以下に試みた。

1) 安定同位体組成分布

分析結果をもとにした $\delta^{18}\text{O}$ － δD の関係を図－1に示す。図－1より、本地すべり地の地下水が深層地下水も含めて天水起源であることが示唆される。

2) 同位体組成と標高

図－2に $\delta^{18}\text{O}$ と採水地点の標高との関係を示した。この図から、次のことが考察される。

①同一地域の天水の $\delta^{18}\text{O}$ 値は、一般に標高が高くなるほど軽く（低く）なることが知られている。これを高度効果と呼び、中部日本地域の場合、 $-0.25\text{‰}/100\text{m}$ 程度¹⁾である。

②浅層地下水同士の比較では、標高と $\delta^{18}\text{O}$ 値との間に①の高度効果が見られる。

③火山岩起源の湧水は、それより標高の高いため池や浅層地下水と同じような $\delta^{18}\text{O}$ 値を持つことから、涵養源が高標高まで広く及んでいる

ことが示唆される。

④深層地下水は、近傍の同等の標高にある浅層地下水よりも低い $\delta^{18}\text{O}$ 値を示していることから、その涵養域は周辺の浅層地下水よりもより高標高部まで含んだ広域に広がっていることが示唆される。

3) d 値と標高

d 値は、 $d = \delta D - 8 \times \delta^{18}\text{O}$ で求められた値である。d 値は、降水を供給する気団により異なることが知られている。中部日本地域の場合、夏季の小笠原気団から供給される降水は、 $d = 10$ 前後であり、冬季の日本海方面からの気団からの降水(降雪)は $d \geq 20$ 程度であることが知られている。¹⁾

図-3に採水地点の標高とd値の関係を示す。この図より、本地域の地下水の多くが、夏季の降水のみではなく、冬季の降水の影響を強く受けていることが示唆される。また、標高の低い浅層地下水では、他と比べて、d値がより小さい傾向が見られることから、夏季の降水の影響をより大きく受けていることが示唆される。

このことは、標高が高い場所では、冬季の積雪量が多くなり、従って、融雪水の浸透が地下水の主要な供給源の1つとなっていると考えられてきたことと合っている。

4) トリチウム濃度から見た地下水年代

トリチウムは、大気中で生成される半減期12.3年の水素の放射性同位元素であることから、地下水中のトリチウム濃度の比較をすることによって、降水が地下浸透してからの地下水の滞留時間を推定することができる。

分析結果から、上方斜面湧水と浅層地下水(10~12TR)は、新しい降水起源(2~3年以内?)である可能性が示唆された。一方、深層地下水は5TRと低い値を示し、相対的に古い地下水であることが示唆された。このことから、上部湧水や浅層地下水は、循環速度が速く、深部地下水は滞留時間の長い地下水であることが示唆される。

5) 溶存成分からみた地下水の流動経路

斜面上部の火砕岩起源と考えられる湧水及びそこから表層堆積物へ直接流下した地下水は溶存イオン量が少なく、 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 型を示す。地すべり地域内の浅層地下水は、溶存イオン量が多くなり、 $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 型~ NaHCO_3 型と変化する。

一方、深層地下水は、溶存イオン量がさらに多くなり、 NaHCO_3 型を示すようになる。このような溶存成分の変化からは、上部の火砕岩から地すべり地域内へ流下した地下水が地層中を浸透していく過程で、周辺の地層と相互作用を受けて水質が変化していくことを示唆しているように見える。

5. まとめ

本地域の地下水の水質の特徴から、次のようなことが示唆された。

- ①安定同位体組成から、調査対象地域の地下水は降水起源の浸透水であることが示唆される。
- ②浅層の地下水の集水流域は、近傍の狭い範囲が主と考えられる。
- ③一方、深層地下水は、より高い標高まで含む広域的な涵養域を有しているものと考えられる。
- ④d値の違いから、標高の高い涵養域の影響を受ける地下水は、冬季の降水からの涵養の影響がより大きいことが示唆される。このことは、標高が高くなるにつれて、積雪量が多くなり、結果として融雪水からの地下水涵養量が多くなることと矛盾しない。
- ⑤浅層地下水に見られる水質の違いは、浸透してからの流動経路上の地質の違いを反映したものと考えられる。
- ⑥トリチウム濃度の違いから、深層地下水は相対的に古い地下水である可能性を示唆している。

参考文献

- 1) 早稻田周, 中井信之(1983): 中部日本・東北日本における天然水の同位体組成, 地球化学, 17, pp. 83-91.

表-1 地下水の模式的区分と水質

区分	賦存形態	帯水層の地質	帯水層の透水係数	水質の特徴	安定同位体比 ($\delta^{18}\text{O}$)	トリチウム濃度
上方斜面	湧水 表層地下水	安山岩凝灰角礫岩 未固結堆積物	$10^{-2} \sim 10^{-3} \text{cm/s}$	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 型 EC: <25ms/m	-11.2~-11.3‰	10TR
浅層地下水	深度20m程度	泥岩・砂岩・礫岩	$10^{-3} \sim 10^{-4} \text{cm/s}$	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 型~ NaHCO_3 型 EC: >25ms/m	-10.1~-11‰	11~12TR
深層地下水	深度25~50m (すべり面付近)	泥岩・砂岩・礫岩	$10^{-4} \sim 10^{-6} \text{cm/s}$	NaHCO_3 型 EC: >40ms/m	-10.6~-10.9‰	5TR

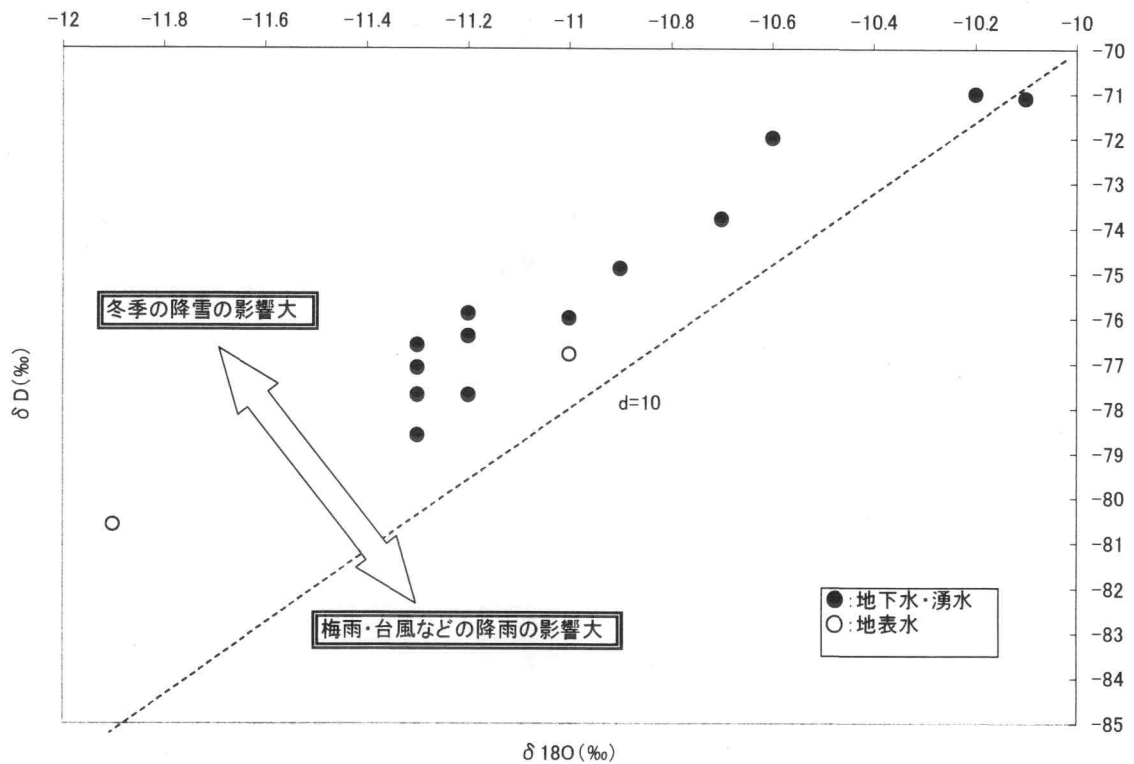
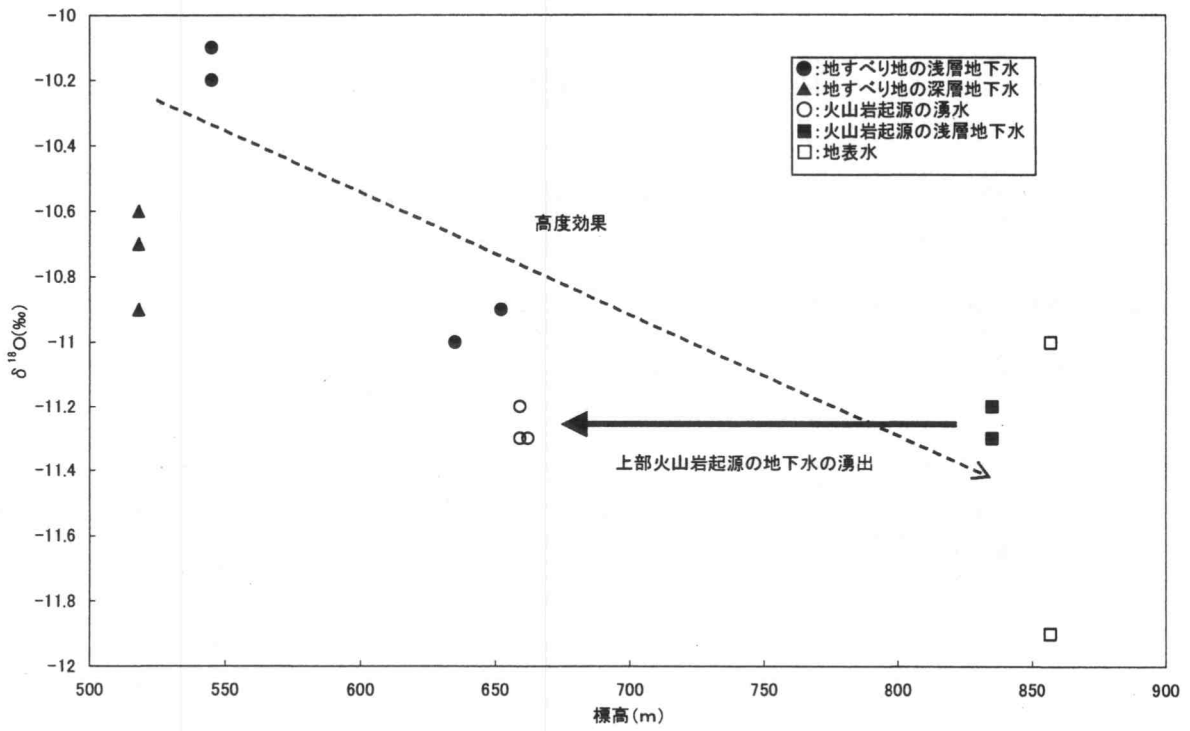
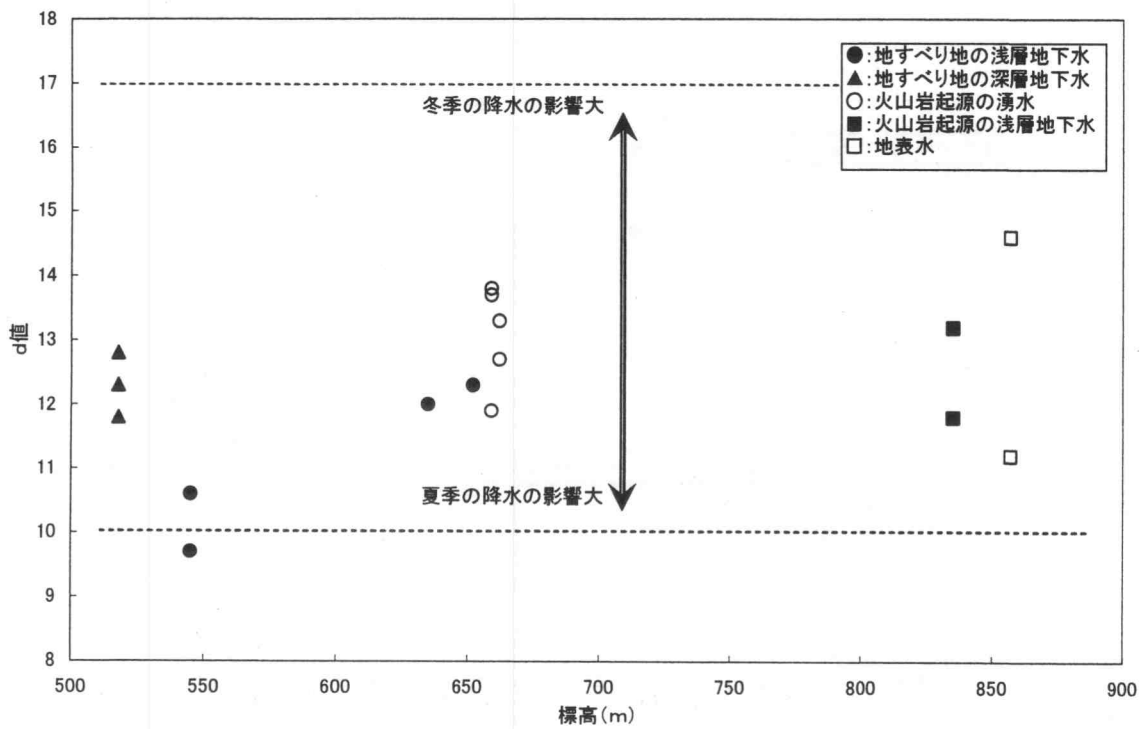


図-1 調査地域の地下水、湧水の δD 及び $\delta^{18}\text{O}$ 分布図



図一2 $\delta^{18}\text{O}$ と採水地点標高との関係



図一3 d 値 ($= \delta D - 8 \times \delta^{18}\text{O}$) と採水地点標高との関係