

# 湧水の涵養範囲の推定

## ～おとめ山の湧水を例として～

Estimation of the recharge area of spring water

～Using the spring water of Mt. Otome as an example～

小林祐士

東京都立戸山高等学校SSH地学 2年

### ABSTRACT

In recent years, the decline of groundwater resources in urban areas has become a problem. In particular, in Shinjuku City, the only spring water that naturally springs out is the spring water in Otomeyama Park in Shinjuku City. In order to conserve the remaining spring water, it is important to first know the nature of the spring water. In particular, where the rain that falls is spring-fed, that is, the recharge range, is closely related to the amount of spring-water. However, the estimation of the recharge range is generally done by measuring radioisotopes, which requires advanced equipment. In this study, we wondered if it was possible to estimate the recharge range using relatively easy data to collect. Specifically, the data includes the temperature and pH of the spring water and the results of boring surveys in the surrounding area. In addition, we used groundwater data in the boring site of Tokyo Metropolitan Toyama High School, which is not far from Otomeyama Park, as a comparison target to estimate the range of spring water recharge.

Keyword : Mt. Otome, springs, recharges, aquifers

### I. はじめに

近年では、都市部における地下水資源の減少が問題となっている。東京都環境局によれば、明治から昭和の約100年間に、山手線の内側だけでも180か所以上の湧水が枯渇している。とりわけ、再開発が急激に進められた新宿区ではその傾向が顕著であり、現在、自然湧出する湧水は新宿区立おとめ山公園内の湧水のみとなってしまった。残された湧水を保全するためにはまず、湧水の性質について知ることが大切である。特に、どこで降った雨が湧水となっているのかについて、すなわち涵養範囲の情報は、湧水量と密接な関わりがある。例えば涵養範囲が狭い湧水であった場合、近隣の開発が湧水量に与える影響は非常に大きなものとなる。逆に涵養範囲が広い場合、広範囲における土壌汚染が、長期間にわたる水質悪化を引き起こすこととなる。このように、涵養範囲の情報は湧水の保全において必須のものである。しかしながら、涵養範囲の推定は放射性同位体の計測などによる方法が一般的であり、

それには高度な設備を要することとなる。本研究では、湧水の涵養範囲について、比較的簡単に採取できるデータを用いて推定できないかと考えた。具体的には、湧水の水温や pH、周辺のボーリング調査の結果といったデータである。さらに、おとめ山公園から程近い、東京都立戸山高校内のボーリング抗跡の中にある地下水のデータについても比較対象として活用し、湧水の涵養範囲について推定した。

以下、新宿区立おとめ山公園内の湧水を「おとめ山湧水」、東京都立戸山高等学校内ボーリング抗跡の中にある地下水を「戸山高校ボーリング抗地下水」と呼称するものとする。

## I. 研究方法

前述のとおり、水温と pH、ボーリング調査の結果の 3 つのデータから涵養範囲を推定しようと試みた。それぞれ、以下のように計測した。

### (i) 水温

#### 〈おとめ山湧水〉

午前7時ごろ(+5分以内)、直径10cmほどのガラス瓶を用いて採水し、その場で計測した。

計測機器: デジタルクッキング温度計 (0~60℃の範囲において精度 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ )。

#### 〈戸山高校ボーリング抗地下水〉

定点観測が可能な温度計を用いて計測した。おとめ山湧水に合わせ、午前7時のデータを使用した。

計測機器: HOBO CO-MX2202 MX ペンダントロガー (-20~70℃の範囲において精度 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ )

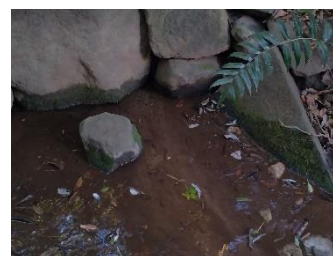
### (ii) pH

pH はおとめ山湧水においてのみ計測した。(i)と同様にして採水し、その場で計測した。

計測機器: MMK SCIENTIFIC pH メータ (精度 $\pm 0.1\text{pH}$ )

### (iii) ボーリング調査の結果

中央開発株式会社が公開する地盤情報ナビのデータを利用した。おとめ山公園・戸山高校それぞれの地点から南北・東西方向にあるボーリングのデータを使用した。



左: 図1 周辺の地図(地理院地図を編集して使用)

右上: 図2 おとめ山の湧水地点

右下: 図3 戸山高校ボーリング抗跡

## Ⅱ 結果

### (i) 水温

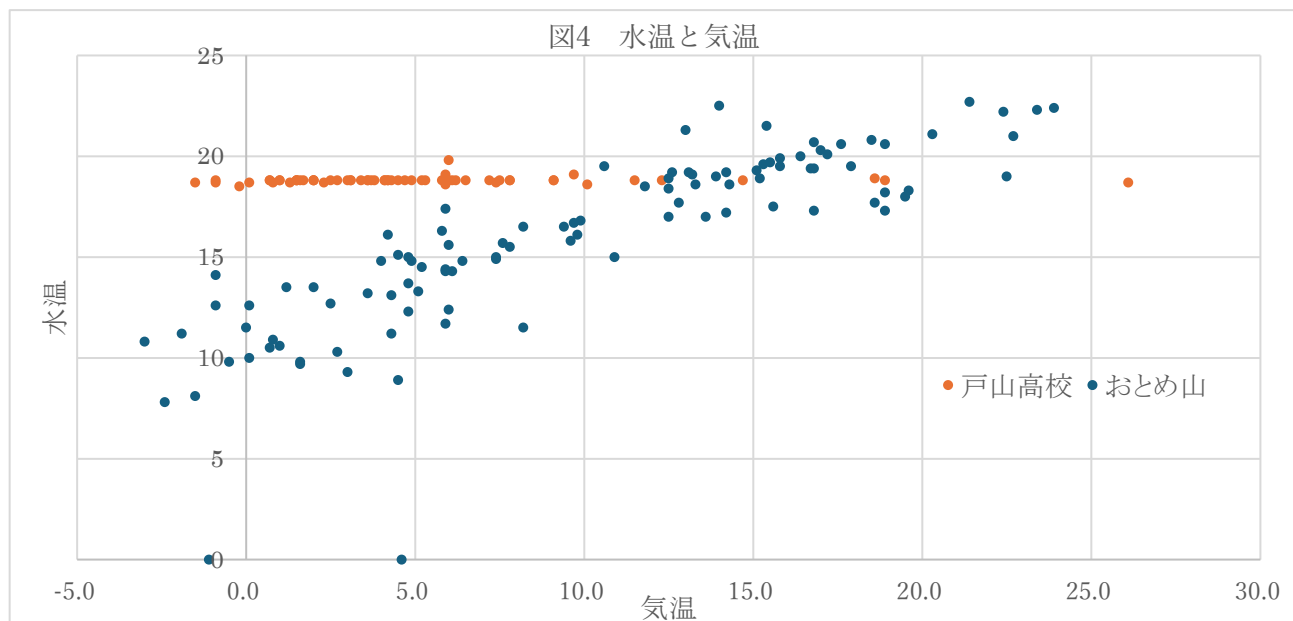


図4を見れば明らかなように、おとめ山湧水は戸山高校ボーリング抗地下水に比べ、水温の変動幅が大きかった。戸山高校ボーリング抗地下水は年間を通じて 18.9℃前後を維持していたのに対して、おとめ山湧水はおおむね 10℃～22℃の範囲で変化した。また、おとめ山において、安定的にデータを収集できた9月～1月の水温変化を図5に示す。

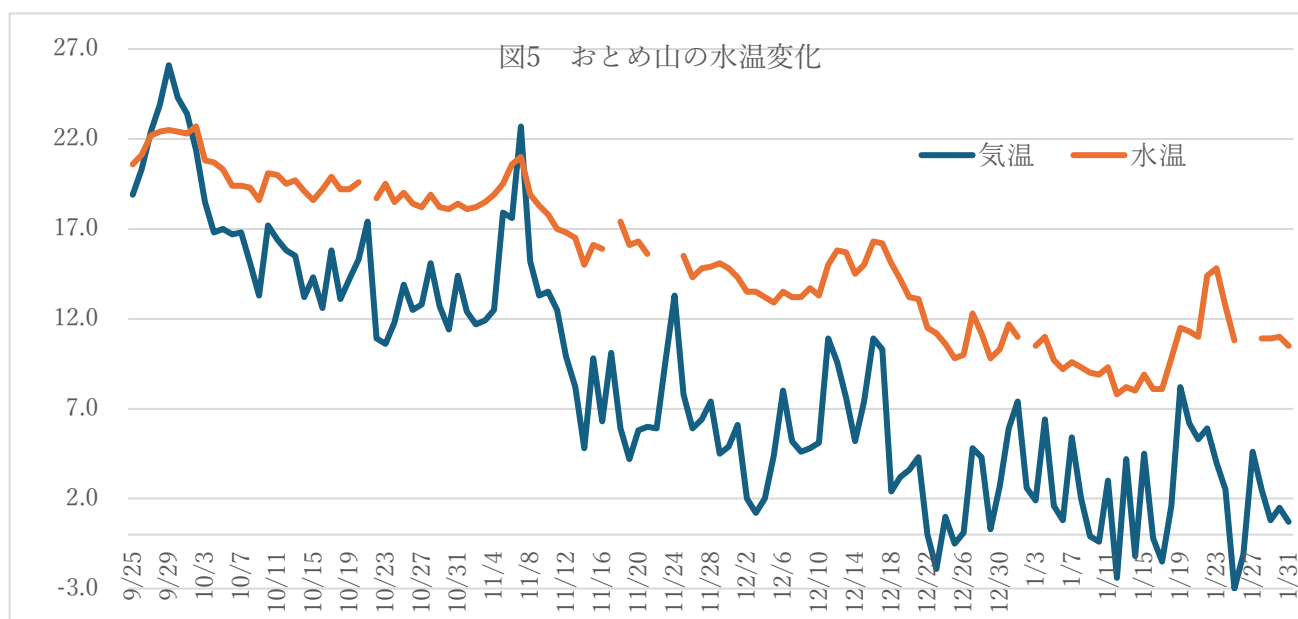


図5によれば、気温と水温の位相遅れは、ほぼないものとして考えられる。

### (ii) pH

おとめ山の湧水の pH の平均は 7.97 となった。基本的に弱塩基性であったが、降水があったときに pH が中性に近づく傾向が見られた。(i)と同じく、安定的にデータを収集できた9月～1月のデータについて図5、特に降水時のデータについて図6に示す。

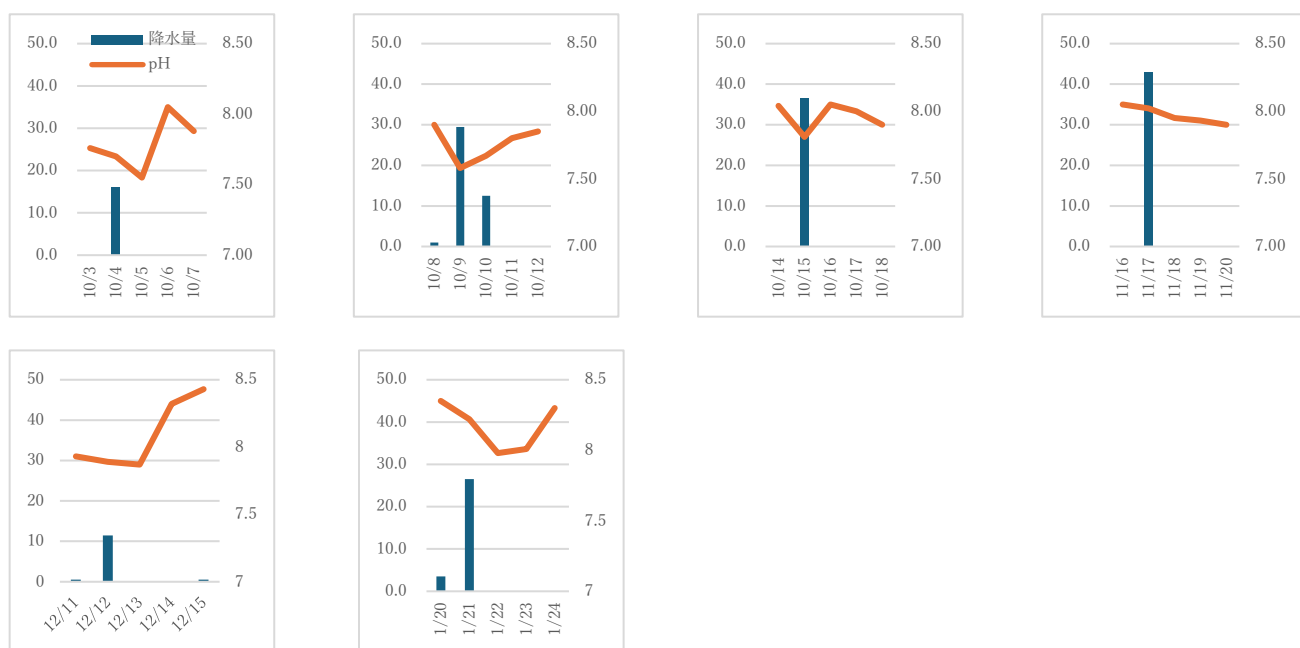
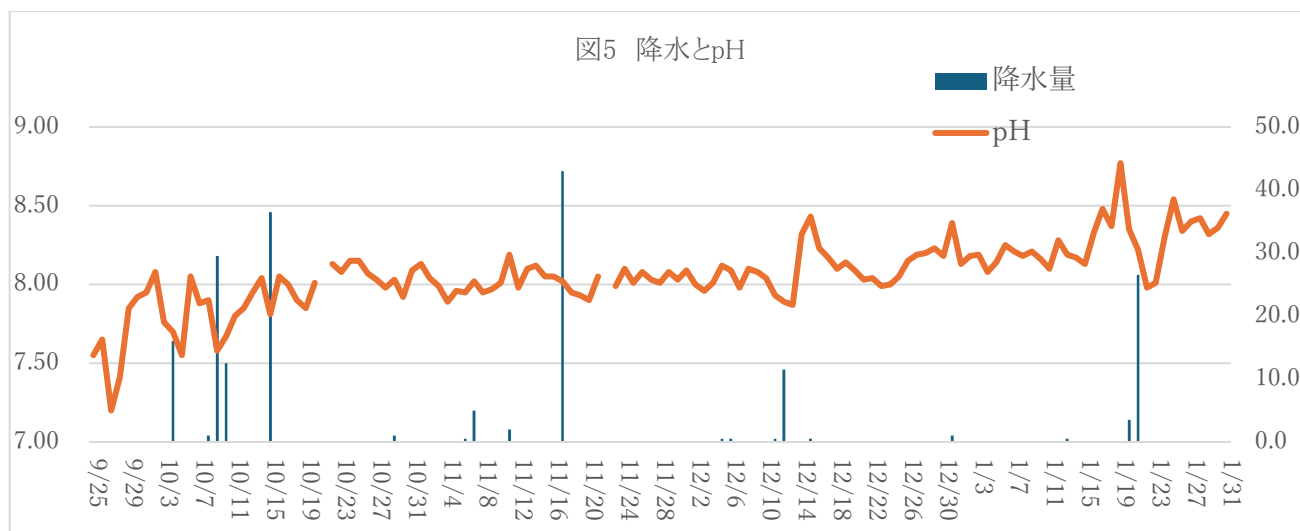


図6 降水時の pH(左軸が降水量[mm]、右軸が pH)

また、降水後に pH が下がる要因について、降雨に含まれる二酸化炭素が原因である(※1)と考え、降水の pH および、水中の二酸化炭素と大気中の二酸化炭素が平衡状態にある時の pH である、RpH についても計測した。

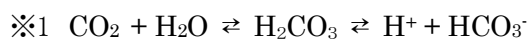


表1 降水の pH

| 日付         | pH   |
|------------|------|
| 2023/10/15 | 6.12 |
| 2023/11/17 | 5.57 |
| 2023/12/12 | 5.94 |
| 2024/1/21  | 5.54 |
| 平均         | 5.79 |

表2 おとめ山湧水の pH と RpH

| 日付        | pH   | RpH  |
|-----------|------|------|
| 2025/1/9  | 8.14 | 7.83 |
| 2025/1/11 | 8.22 | 7.90 |
| 2025/1/14 | 8.23 | 7.81 |
| 2025/1/21 | 8.09 | 7.90 |

前日降雨あり

### (iii)ボーリング調査

右図のようにして、おとめ山及び戸山高校について、東西・南北の各方向に対して断面図を作成した。図7中の線は、青が南北方向、赤が東西方向を表している(※2)。

※2 各線は目安として引いたものである。また、図中の赤色の×印は、それぞれおとめ山と戸山高校を指し、北西にあるのがおとめ山、南東にあるのが戸山高校である。

|            |        |      |         |      |
|------------|--------|------|---------|------|
| 硬質土        | 腐植土    | 廃棄物  | 玉石混じり   | 硬質   |
| 硬          | 泥岩     | 改良土  | 泥混じり    | 砂質   |
| 粗礫         | 黒泥     | 瓦礫   | 砂混じり    | シルト質 |
| 中礫         | 硬岩     | 盛土   | シルト混じり  | 粘土質  |
| 細礫         | 中硬岩    | 埋土   | 粘土混じり   | 有機質  |
| 砂質土        | 軟岩、風化岩 | 表土   | 有機質土混じり | 火山灰質 |
| 砂          | 風化岩    | 空洞   | 火山灰混じり  |      |
| 粗砂         | 玉石     | 硬質粘土 | 貝殻混じり   |      |
| 中砂         | 浮石(軽石) | 固結粘土 |         |      |
| 細砂         | 浮石     | 硬岩   |         |      |
| 粘性土        | シラス    | 砂岩   |         |      |
| シルト        | スコリア   | シルト岩 |         |      |
| 粘土         | 火山灰    | 泥岩   |         |      |
| 有機質土       | ローム    | 頁岩   |         |      |
| 火山灰質粘性土    | 黒ボク    | 粘板岩  |         |      |
| 高有機質土(腐植土) | マサ     |      |         |      |

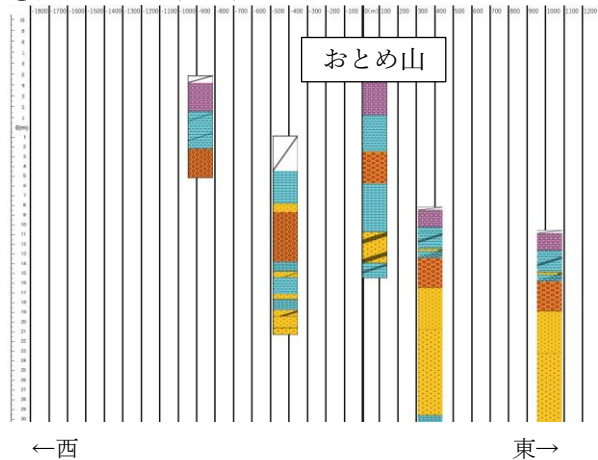
図7 凡例(※3)



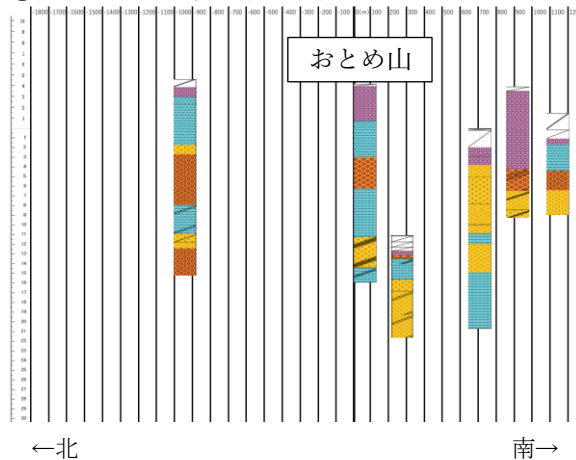
図8 ボーリングデータの各地点  
(地理院地図のツールを使用して編集)

※3 今回使用した柱状図のデータでは、礫層がオレンジ色、砂層が黄色、泥層が水色、ローム層が紫色に着色されている

①図9 おとめ山 東西方向

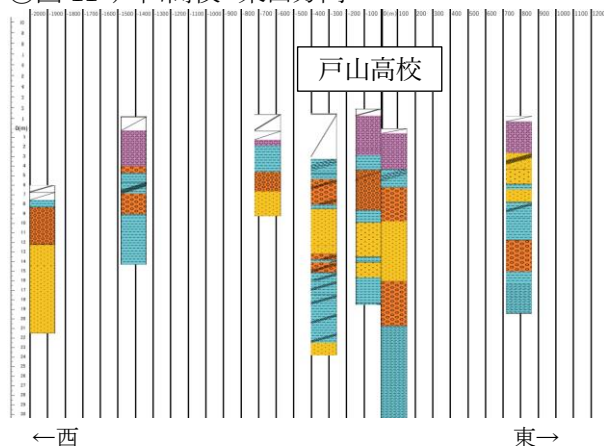


②図10 おとめ山 南北方向

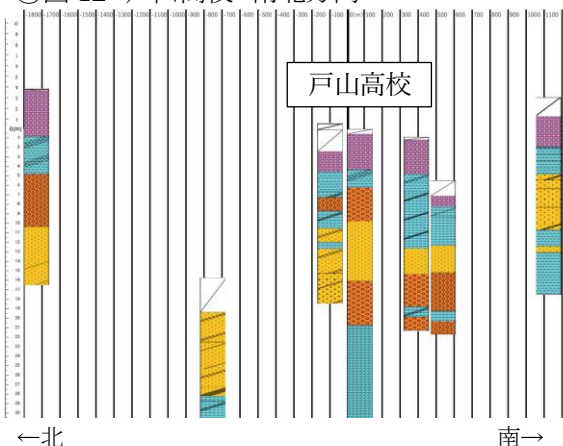


なお、おとめ山、戸山高校ともに南北方向のデータについては神田川によって土地が低くなっている部分がある。

③図 11 戸山高校 東西方向



④図 12 戸山高校 南北方向



## II. 考察

### (i)水温

おとめ山で水温の変化が大きくなった要因についてであるが、短期的な要因として降雨による影響が考えられる。先行研究で、おとめ山の湧水は降雨時に、雨が帯水層まで浸透せずに流出する表面流出水の影響を受けていることが述べられていた。表面流出水は降雨が帯水層まで浸透せずに流出したものであるため、夏は地下水よりも熱く、冬は冷たくなっている。一方で、図 5 に示した通り、水温は長期的見ても変動があった。位相遅れがないということは、雨が降ってからすぐ、またはちょうど  $n$  年後( $n$  は自然数)に流出しているということになるが、先行研究で、おとめ山湧水は流出速度が速いということが述べられており、雨があまり期間を空けずに流れ出ていると考えるのが自然である。

### (ii)pH

降雨がやや酸性に傾いたことと、 $RpH$  の変動幅が小さかったことを考慮すると、 $pH$  の変化は雨によるものである可能性が高い。しかしながら、図 6 を見るとその影響は数日程度にしか及ばないものと考えられる。数日間のうちに、降った雨がすべて流れ出てしまう場合、長期間雨が降らなかった際には湧水が枯れてしまうことになるが、これはおとめ山湧水の現状と反するものであるため、 $pH$  に影響を与えているのは表面流出水である可能性が高い。

### (iii)ボーリング調査

基本的に、武蔵野台地は多摩川が運搬した土砂が堆積することによって形成されているため、西から東へなだらかに傾斜しているのが自然である。よって地下水もおおむね西から東へ流れているはずである。ここで図 9 と図 11 を参照すると、帯水層である礫層の下面について、戸山高校は概ねなだらかな傾斜となっており、特に戸山高校付近については西から東へと傾斜する形となっている。一方でおとめ山は、周囲に比べて標高が高くなっていて、傾斜も急となっている。地下水の見かけの速さを表すダルシー流速は、帯水層の水の通しやすさ(透水係数)と地層の傾き(動水勾配)の積で求まるため、今回のボーリング調査による結果はおとめ山湧水の流出速度が速いという先行研究の結果と一致する。また、おとめ山湧水・戸山高校ボーリング抗地下水ともに浅層にあり(ともに深度9mほど)、不圧地下水であるため、標高が低いところから高いところへ地下水が流れているとは考えにくい。よって周囲よりも標高が高くなっているおとめ山湧水では、その涵養範囲は狭いことが推測される。また、流速が速かったとしても涵養範囲が広ければ、雨が流出するのにかかる時間は長くなるため、水温の結果と照らし合わせても涵養範囲は狭くなっているものと考えられる。

(i)～(iii)をまとめると、おとめ山湧水は戸山高校ボーリング抗地下水に比べて涵養範囲は比較的狭く、流出速度も速くなっていると考察される。この結果は、先行研究において、詳細な水質検査やシミュレーターを使用した演算等を実施した場合の結果と一致する。したがって、本研究で実施した、水温や pH、ボーリング調査の結果を利用した方法では、詳細な涵養範囲や面積を考察することはできないものの、大まかな涵養範囲や地下水の流速については推定できることが分かった。

最後に湧水の保全に関してだが、おとめ山の湧水については涵養範囲が狭いため、周囲の環境変化によって湧水が大きく影響を受ける可能性がある。湧水の保全のためには、なるべく降雨が浸透できる面積を減らさないことや、現在導入されている雨水浸透施設を活用することなどが重要である。

## 参考文献

気象庁 | 酸性雨に関する基礎的な知識 [https://www.data.jma.go.jp/env/acid/info\\_acid.html](https://www.data.jma.go.jp/env/acid/info_acid.html)

新宿区おとめ山公園湧水の実態調査と雨水浸透施設導入による 湧水量回復効果の検討

用水と排水 2013 年 2 月 新宿区おとめ山公園湧水の湧水量の経年変化とその要因の推定

[https://www.jstage.jst.go.jp/article/jagh/57/2/57\\_171/\\_pdf/-char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jagh/57/2/57_171/_pdf/-char/ja)

解析雨量を用いた自然湧水の涵養域に関わる考察 [https://www.jstage.jst.go.jp/article/jahs/48/1/48\\_3/\\_pdf/-](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jahs/48/1/48_3/_pdf/-char/ja)

[char/ja](https://www.jstage.jst.go.jp/article/jahs/48/1/48_3/_pdf/-char/ja) 酸性雨の現状と雨水利用の留意点 <https://www.kotobukigrp.com/technology/pdf/topics4.pdf>

地下水用語集(立ち上げ段階版)

[https://www.kantei.go.jp/jp/singi/mizu\\_junkan/tikasui\\_management/pdf/siryou4-3.pdf](https://www.kantei.go.jp/jp/singi/mizu_junkan/tikasui_management/pdf/siryou4-3.pdf)

初めて地下水に関わる方への参考資料

[https://www.kantei.go.jp/jp/singi/mizu\\_junkan/tikasui\\_management/pdf/siryou4-1.pdf](https://www.kantei.go.jp/jp/singi/mizu_junkan/tikasui_management/pdf/siryou4-1.pdf)

地盤情報ナビ [http://www.geonavi.net/georisknavi2/html/13\\_tokyo.html](http://www.geonavi.net/georisknavi2/html/13_tokyo.html)

## 謝辞

地盤情報ナビの使用についての問い合わせに丁寧に対応していただき、使用許可を下さった中央開発株式会社様に謝意を表します。