

湧水温、湧出量とシリカ濃度に基づく
涵養・湧出機構の推定—東京都日野市の例—

2009年

松山 洋

首都大学東京 都市環境科学研究科 准教授

共同研究者：成宮博之（朋優学院高等学校）

中山大地（首都大学東京 都市環境科学研究科）

湧水温とSiO₂濃度に着目した地下水循環の推定と環境の変遷に伴う湧水の変化について

— 東京都日野市を事例として —

成宮 博之¹⁾ 中山 大地²⁾ 松山 洋²⁾

¹⁾朋優学院高等学校

(〒140-8608 品川区西大井 6-1-23)

²⁾首都大学東京 都市環境科学研究科

(地理学教室 〒192-0397 八王子市南大沢 1-1)

東京都日野市で継続的に調査が行なわれている8地点の湧水のうち、2地点では水温の季節変化が大きい。日野市には温泉はなく、水温の季節変化が地中伝導熱によって生じることを考えると、これら2地点の湧水は、恒温層よりも浅いところを流れる地下水によって涵養されていなければならない。つまり、これら2地点では、地上に達した降水が速やかに浸透・湧出することが期待される。

このことを確認するために、降水にはほとんど含まれないSiO₂濃度に着目して湧水の調査・分析を行なった。日野市に最も近いAMeDAS八王子の年降水量(1,572 mm)の約1割を超える連続雨量が観測された事例は2006年9月～2007年10月に4回あり、上述した2地点の湧水では、豪雨後のSiO₂濃度の平均値は、晴天時(11回)の平均値よりも統計的に有意に小さかった。一方、残り6地点の湧水では、豪雨後と晴天時のSiO₂濃度の平均値の差は統計的に有意でなく、湧水温の季節変化も小さかった。すなわち、同じ日野市内の湧水であっても涵養・湧出機構が異なる可能性が示唆される。

日野市が調査を行なった1990～2005年のデータでは水温の季節変化が小さかったにも関わらず、筆者たちが調査を行なった2006～2007年には水温の季節変化が大きくなっている湧水があることが、判別分析によって明らかになった。すなわち、環境の変化に伴って性質が変わりつつある湧水があることが、本研究によって示された。

キーワード：湧水、水温、SiO₂濃度、日野市、判別分析

I. はじめに

近年、東京では湧水への関心が高まりつつあり、人間の活動によって消失の危機にさらされている湧水の保全が注目されている。東京都は、2003年1月に湧水の保護と回復を目指して、「東京の名湧水57」(東京都環境局自然環境部, 2003)を選定・公表した。また、1987～2001年にかけて、東京都環境局自然環境部(旧・東京都環境保全局水質保全部)が都内の30地点の湧水について水質調査を行なっている(例えば、東京都環境局自然環境部, 2002)。このように、湧水は環境保全の観点から注目されていると同時に、長期間にわたって継続的に調査されたデータは、有用かつ貴重なものといえる。

これらのデータと独自の現地調査を組み合わせ、成宮ほか(2006)は東京都の湧水温の長期変化傾向

を求めた。その結果、多くの湧水温が統計的に有意な上昇傾向にあることが示された。しかしながら、この研究では、湧水ごとの水温の上昇傾向の違いや、水温が上昇傾向を示さない湧水があることなどについて、涵養・湧出機構の違いによる影響を示唆したもの、十分な考察までには至らなかった。

その一方、成宮ほか(2006)で東京都内の各市区町村を対象に長期的な湧水の調査記録について調べたところ、日野市では1990年から現在に至るまで、8地点の湧水で継続的に調査が行なわれていることが分かった(環境管理センター, 1991, 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2000; ジオデータ・コンサルタント, 2001; 地盤調査事務所, 2002, 2003, 2004, 2005, 2007; スタッド, 2006)。これらの地点は、図-1bに示す通りである。そして、湧水によって水温の季節変

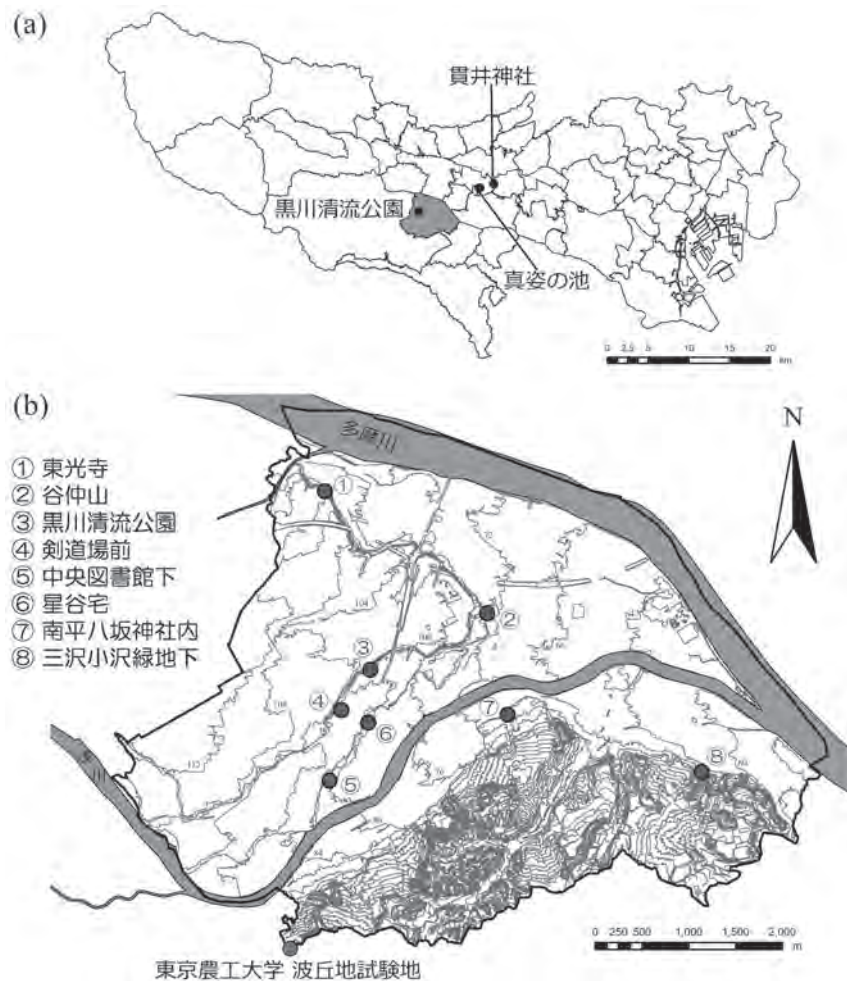


図-1 研究対象地域。(a)本文中で言及した湧水と日野市の位置。(b)日野市の地形図(等高線の間隔は4m)と対象とした湧水

Fig. 1 Study area. (a) Locations of springs mentioned in this study and Hino City in Tokyo Metropolis. (b) Topographical map of Hino City (Contour interval is 4 m) and springs investigated.

化の様子が異なることが、予察的解析から明らかになった(図-2a)。

図-2aからは、水温の季節変化が大きな湧水が2つ(1. 東光寺と8. 三沢小沢緑地下)あることが分かる。水温の季節変化が大きいということは、地中温度が季節変化するということである。日野市には温泉はないため(金原, 1992)、地中温度が季節変化する原因は地中伝導熱しかありえない。つまり、これら2つの湧水は恒温層(地中温度の季節変化が消失する層)の上限よりも浅いところを流れる地下水によって涵養されていなければならない。なお、日野市付近における恒温層上限の深さは約12 m、その温度は約15℃であり(木内, 1950)、恒温層上限の温度は、日

本においては年平均気温にほぼ等しいか若干高いのが普通である(例えば、新井, 2004)。日野市に最も近いAMeDAS八王子の年平均気温は14.1℃(1979~2000年)であるから、水温の季節変化が小さい6つの湧水は、恒温層を流れている可能性が高い(図-2a)。

浅いところを流れる地下水は、深いところを流れる地下水に比べて流動距離が短く、降水が速やかに浸透・湧出する可能性が高い。すなわち、図-2aにおいて、水温の季節変化が大きな2つの湧水は、他の6つの湧水と比べて降水後、特に豪雨後の湧出特性が異なることが予想される。そこで本研究では、晴天時と豪雨後に日野市で湧水の調査を行ない、湧出特

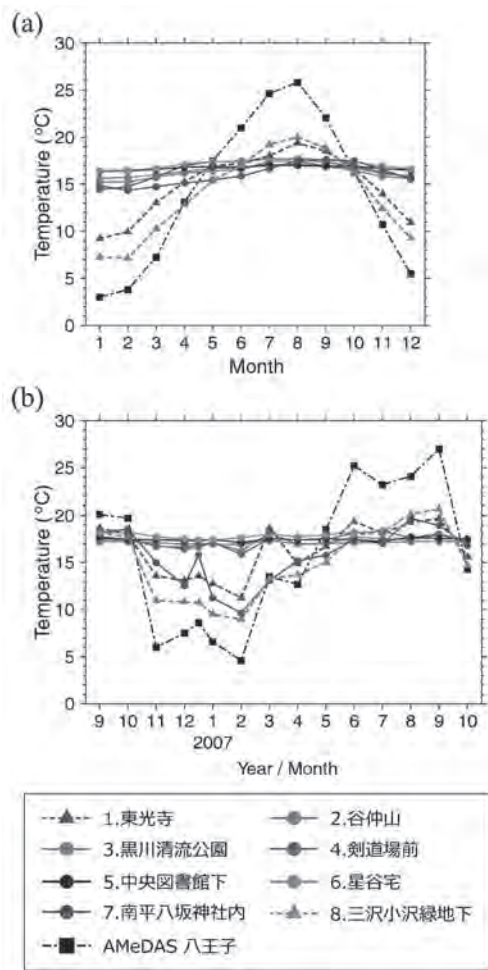


図-2 日野市の湧水温の季節変化。(a) 1990～2005年における月平均水温。(b) 2006～2007年の独自の現地調査における水温の変化

Fig. 2 Seasonal change of spring water temperatures in Hino City. (a) Monthly mean water temperatures from 1990 to 2005. (b) Water temperature from 2006 to 2007 observed by our field survey.

性の違いを明らかにすることを目的とする。このことは、湧水の涵養・湧出機構を推定することにつながり、都市化や市街化などによる地域開発の際、湧水を保全するのに役立つと考えられる。

II. 研究対象地域

このように、本研究では、東京都日野市を研究対象地域とする(図-1)。日野市の北側には、多摩川が南東に向かって流れ、隣接する4つの市との境界になっている。西側は、日野台地に連続して八王子市

街に接し、南側には多摩丘陵が広がり、八王子市との境界となっている。さらに、市中央を東西方向に多摩川の支流である浅川が流れ、左岸には日野台地が、右岸には多摩丘陵が、それぞれ位置している。

市街化などの影響で以前に比べて数は減少したものの、日野台地周辺の段丘崖、あるいは多摩丘陵の谷戸や沢筋などを中心として、日野市には約200個の湧水が分布している。本研究では、市内に位置する湧水のうち、日野市が継続的に調査を続けている8地点(1. 東光寺, 2. 谷仲山, 3. 黒川清流公園, 4. 剣道場前, 5. 中央図書館下, 6. 星谷宅, 7. 南平八坂神社内, 8. 三沢小沢緑地下)を対象とする。なお、3. 黒川清流公園, 5. 中央図書館下, 8. 三沢小沢緑地下の3地点は、「東京の名湧水57」(東京都環境局自然環境部, 2003)にも指定されている。

III. 研究方法

本研究では、晴天時と豪雨後の湧出特性の違いを明らかにするために、 SiO_2 に注目した。 SiO_2 は降水にはほとんど含まれず、しかも保存性に富むなど、地下水のトレーサーとして有用とされている(安原ほか, 1990)。また、地中の滞留時間に比例して濃度が増加し(Haines and Lloyd, 1985)、 SiO_2 に関する水と土壌の反応は3日間でほぼ平衡に達することも知られている(Wels *et al.*, 1991)。

降水が速やかに湧出する湧水では、豪雨後に湧出量が増大し、 SiO_2 濃度が低下するはずである。そして、これらの湧水は恒温層上限よりも浅いところを流れているため、水温の季節変化も大きいはずである。反対に、降水が速やかに湧出しない湧水では、豪雨後においても溜まっていた古い地中水が押し出されるため、 SiO_2 濃度の変化があまりあらわれないと推察される。

実際、平野・小倉(1992)は、東京都の国分寺崖線付近の湧水を対象として、1990年11月30日に台風28号が上陸した時の増水時(東京の日降水量: 188 mm/day)に水質を測定し、それらの変化について考察している。その結果、近接する真姿の池と貫井神社(図-1a)では SiO_2 濃度の時間変化の様相が異なっていた。真姿の池では豪雨後に湧出量は4～5倍に増大し、 SiO_2 濃度が減少した。一方、貫井神社でも湧出量は増大したが、その変化は真姿の池と比べると小さかった。また、 SiO_2 濃度は湧出量の増大に伴ってむしろ増加していた。そして、この研究では、真

姿の池の湧出は平田（1971）による大間隙流に、貫井神社の湧出は榎根ほか（1980）によるピストン流に、それぞれ対応するとされている。すなわち、真姿の池と貫井神社における SiO_2 濃度の時間変化の違いは、湧水の涵養・湧出機構の違いをあらわしていると、平野・小倉（1992）では推定されている。

Ⅳ. 使用データ

1. 既存の湧水観測データ

日野市で1990年から行なわれている湧水の調査結果は、『湧水量および地下水位計調査業務委託報告書』の形でまとめられている（環境管理センター、1991、1994、1995、1996、1997、1998、1999、2000；ジオデータ・コンサルタント、2001；地盤調査事務所、2002、2003、2004、2005、2007；スタッド、2006）。出版元が年によって変わっているが、実態としては同じ機関が調査を続けているため、データの連続性は保証されている。これらの報告書では、本研究で対象とする8地点の湧水の他に、市内の地下水や自噴井戸についても調査がなされている。

これらの調査では、およそ2週間に1回の頻度で測定が行なわれており、年間24個のデータがある。測定項目は、水温、pH、電気伝導度、湧出量の4項目である。湧出量は、採水地点の状況に合わせて、流速計算、計量袋、三角堰による方法で測定が行なわれている。水温、pH、電気伝導度は、それぞれ、電子水温計、携帯型pH計（ガラス電極法）、携帯型電気伝導度計（電極法）により測定されている。

2. 日野市における独自の現地調査

1) 現地調査の概要

上述した日野市による調査とは別に、2006年9月23日～2007年10月21日に計15回、湧水8地点について独自の現地調査を実施した。調査は基本的に1ヶ月に1回の頻度で行ない、台風などによって豪雨が生じた際に、追加調査を行なった。この調査の目的は2つあり、1つは、日野市の調査で測定していない SiO_2 濃度を測定するためである。もう1つは、豪雨後の観測データを入手するためである。なお、現地調査を行なうに際し、事前に日野市の調査に同行し、測定場所や測定方法などを確認してある。

晴天時の調査は、基本的に、最後に降水がみられた日から3日目以降に実施した。これは、Ⅲ章で述べた通り、 SiO_2 に関する水と土壌の反応は3日間ではほぼ

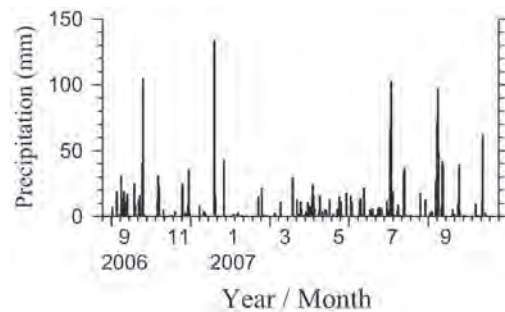


図-3 2006年9月～2007年10月におけるAMeDAS八王子の日降水量

Fig. 3 Daily precipitation at AMeDAS Hachiouji from September 2006 to October 2007.

平衡に達するからである（Wels *et al.*, 1991）。一方、日野市に最も近いAMeDAS八王子の連続雨量が、年降水量（1,572 mm, 1979～2000年）の約1割に相当する降雨を豪雨と判断して、豪雨後1日以内に平常時と同様の調査を行なった。連続雨量については、瀬戸ほか（1995）を参考にし、ある降雨と次の降雨との間の無降水継続時間が24時間より長い時に、これらを別々の降水イベントとした。調査期間中に豪雨と判断された降雨は、2006年10月4～7日（146 mm）、2006年12月26～27日（151 mm）、2007年7月14～18日（169 mm）、2007年9月4～7日（245 mm）の4つであった（図-3）。

2) 測定項目と測定方法

気温・水温、pH、電気伝導度、湧出量の4項目を現地で測定し、 SiO_2 濃度を研究室で測定した。日によって異なるが、現地調査はおおむね8:30～16:30の間に行ない、1回の現地調査に要した時間は、移動を含めて約3時間であった。また、1ヶ所の湧水で測定に必要な時間は約15分、研究室での測定時間は1サンプルあたり約15分であった。ただし、3. 黒川清流公園の湧出量と2007年7月以降の6. 星谷宅は、測定が困難だったため調査を行っていない。

■ 気温・水温

現地にて、株式会社A&D社製AD-5623デジタル温度計を用いて気温と水温を測定した。温度計は首都大学東京にて較正を行ない、標準温度計との器差を補正してある。測定精度は0.1℃である。

■ pH

現地にて、株式会社堀場製作所製pHメータB-212を用いてpHを測定した。測定精度は0.1 pHである。

■ 電気伝導度

現地にて、株式会社堀場製作所製電気伝導度計B-

173を用いて電気伝導度を測定した。測定精度は、2%である(ただし、デジタル表示の最終桁が1変わる可能性がある)。なお、ここで述べた精度は、測定温度範囲が5~35℃の場合である。

■ 湧出量

湧出量は、日野市の調査にならない、採水地点に合わせて、流速計算と計量袋による方法で測定を行なった。流速計算による方法は、5. 中央図書館下、6. 星谷宅の2地点で行なった。一定の距離をあらかじめ測り、草などを流すことで流速を求め、断面積から湧出量を計算した。測定誤差を少なくするために計測は5回行ない、最小値、最大値を除いた3回の結果から平均値を算出し、それを測定値とした。計量袋による方法は、1. 東光寺、2. 谷仲山、4. 剣道場前、7. 南平八坂神社内、8. 三沢小沢緑地下の5地点で行なった。これらの地点では、ビニール袋で一定時間採水し、バネばかりを用いて重さを量ることで湧出量を計算した。なお、測定誤差を少なくするために、流速計算と同様の処理を行なった。

■ SiO₂濃度

前述の4項目を現地で測定した後、ポリエチレン製のビン(容量 250 ml)に湧水を詰めて大学に持ち帰った。持ち帰った水は、浮遊混濁物を除去するため、0.47 μmのメンブランフィルターを用いた減圧濾過処理を施し、HACH社製分光光度計DR2800を用いたモリブデン黄吸光度法でSiO₂濃度を測定した。測定精度は0.1 mg/lである。

V. 水質調査の結果

1. 晴天時と豪雨後の水質の違い

晴天時とあわせた15回の調査結果のうち、日野市の湧水の湧出量、SiO₂濃度、電気伝導度の時間変化を図-4に示す。図中の白抜き記号は、豪雨後の調査結果を示している。ここで注目すべき点は、図-2aから水温の季節変化が大きいと判断された2地点(1. 東光寺と8. 三沢小沢緑地下)と、それ以外の6地点の変動の違いである。水温の季節変化が大きい2地点では、増水時に湧出量が跳ね上がると同時に、SiO₂濃度と電気伝導度が明瞭に低下していることがわかる。SiO₂濃度について、晴天時と豪雨時の平均値の差に関するt-検定を行なったところ、1. 東光寺における豪雨後のSiO₂濃度は、片側5%で統計的に有意に小さくなった。また、8. 三沢小沢緑地下については、片側0.1%で有意に小さくなった。一方、7.

南平八坂神社内については、ほぼ片側5%で有意に小さくなったものの(p < 0.052)、残りの5地点については、片側5%でも有意な差は得られなかった。

SiO₂が降水にはほとんど含まれないことを考えると、豪雨後にSiO₂濃度が低下するためには、1. 東光寺と8. 三沢小沢緑地下では、降水が速やかに湧出していなければならない。一方、この他の6地点については、豪雨後もSiO₂濃度は低下せず、地中の古い水が押し出されている可能性が高い。これは、III.章で考えたことが間違っていないことを示している。

2. 湧水温の季節変化

図-2bは、2006年9月~2007年10月に行なった独自の現地調査をもとに、水温の季節変化を図化したものである。観測開始時期が9月のため、図-2aとは、グラフの全体的な形が異なっている。また、長期間の平均値ではないため、図-2aに比べて季節変化は滑らかに表現されていない。しかし、気温の季節変化が大きい点や、1. 東光寺と8. 三沢小沢緑地下では水温の季節変化が大きい点など、全体的な傾向は図-2aと変わっていない。

このように、全体的な傾向は変わっていないが、図-2a, bを比較すると、7. 南平八坂神社内の季節変化が、過去の平均値に比べて図-2bでは大きくなっていることがわかる。このことは、以前は水温の季節変化が小さかった湧水が、近年では何らかの原因によって外部の影響を受け、水温の季節変化が大きくなっていることを意味している。

水温の季節変化が大きくなったことを統計的に示すために、マハラノビスの距離を用いた判別分析を行なった(例えば、有馬・石村, 1987)。水温の季節変化の大きいグループに1. 東光寺と8. 三沢小沢緑地下を、水温の季節変化の小さいグループに2. 谷仲山、3. 黒川清流公園、4. 剣道場前、5. 中央図書館下、6. 星谷宅を、それぞれ分類した。そして、7. 南平八坂神社内がどちらのグループに分類されるかを判別した。1990~2005年の平均値を月ごとに判別分析した結果、12回中9回、7. 南平八坂神社内は水温の季節変化が小さいグループに分類された。一方、2006~2007年では、測定値を調査ごとに判別分析した結果、15回中13回、7. 南平八坂神社内は水温の季節変化が大きいグループに分類された。これらのことから、7. 南平八坂神社内は近年、水温の季節変化が大きくなっていると言える。

7. 南平八坂神社内では、豪雨後のSiO₂濃度が晴天

時に比べて、ほぼ片側5%で有意に小さくなったこと、さらに、この湧水では、晴天時の湧出量の平均値が0.14 l/sと8地点の中で2番目に少なかったことから(表省略)、環境の変化を受けやすい状況にあると言える。この点については、VI.2.節でさらに詳しく述べる。

VI. 考察

1. 地形・地質条件との関係

本節では、V.章で得られた水質の特徴と地形・地

質条件との関係について考察する。なお、対象地域は浅川を挟んで地質構造が大きく異なるため、日野台地と多摩丘陵を別々に考察していく。

1) 日野台地

日野台地は、地盤調査事務所(1993)や角田(1991)などで、地下水面を推定する試みがなされている。しかし、これらでは統一の見解が得られているわけではなく、地下の状態を推定する難しさを物語っている。また、これらはいずれも報告書であり、論文としてまとめられたものではない。

本研究では、角田(1991)で使用された341本の柱

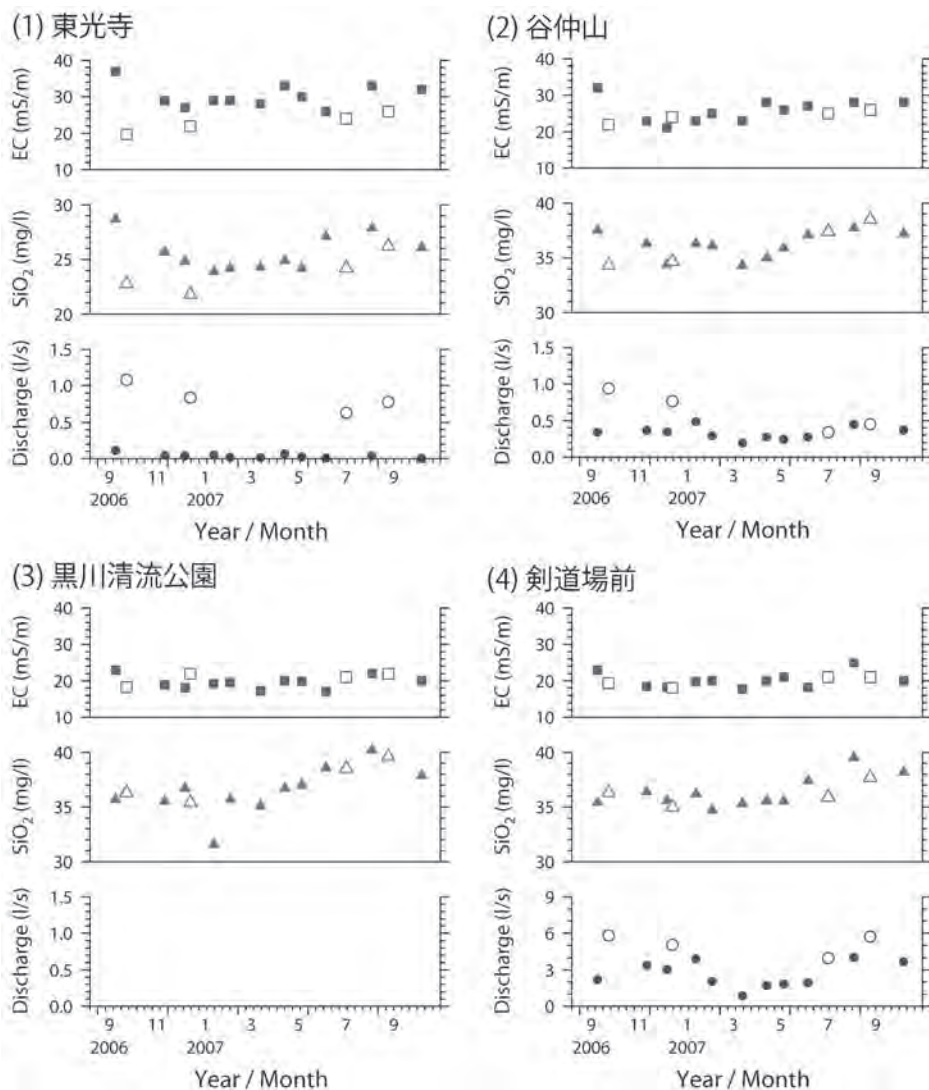


図-4.1 日野市における独自の現地調査の結果。白抜き記号は、豪雨後の測定値を示している。

Fig. 4.1 Results of our field survey in Hino City. White symbols show the measurements after heavy rainfalls.

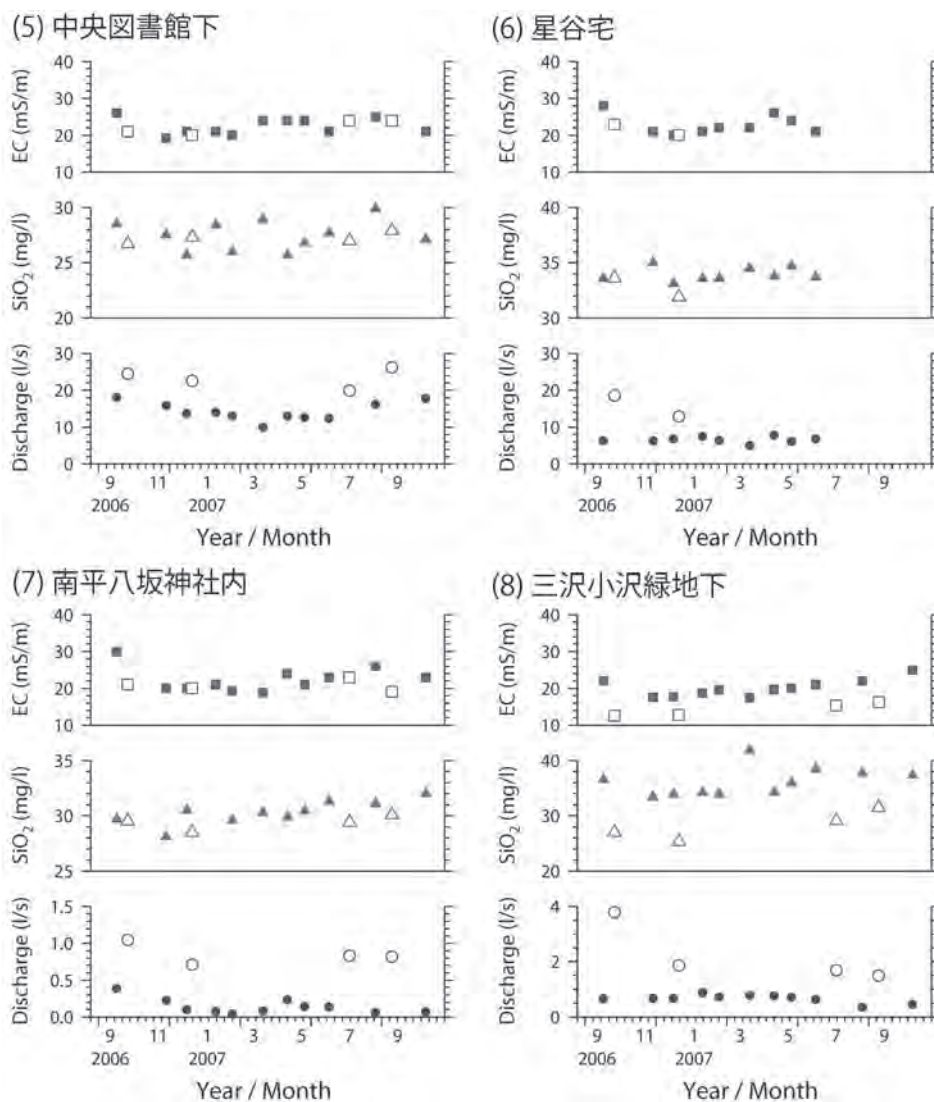


図-4.2 日野市における独自の現地調査の結果。白抜き記号は、豪雨後の測定値を示している。
 Fig. 4.2 Results of our field survey in Hino City. White symbols show the measurements after heavy rainfalls.

状図のデータから、地下の難透水層の推定を試みた。ここで難透水層は、土木学会（1990）を参考にして、シルト層と粘土層と定義した。ここでは、ボーリング地点の標高から難透水層までの深度を引くことで、地下における難透水層の標高を算出した。そして、それらの値を基にして難透水層の等値線図を作成した（図-5）。

図-5から難透水層の尾根線を推定すると、図中にあるような太線の境界線が描ける。この境界線から、日野台地に位置する6地点の湧水のうち、1. 東光寺だけが異なる涵養域に位置していることがわかる。

また、図-5だけでなく、角田（1991）や土屋（1989）で自由地下水面を推定している手法においても、1. 東光寺の南側には、日野台地に位置する他の5地点と1. 東光寺を分離させるような境界線を見出すことができる。このように、1. 東光寺の地下水涵養域が狭いということは、1. 東光寺の水温の季節変化が大きいことや、豪雨後にSiO₂濃度が有意に低下することも整合的であると言える。

2) 多摩丘陵

多摩丘陵では、日野台地のように大量の柱状図のデータが存在しない。そこで、既存の研究成果と比

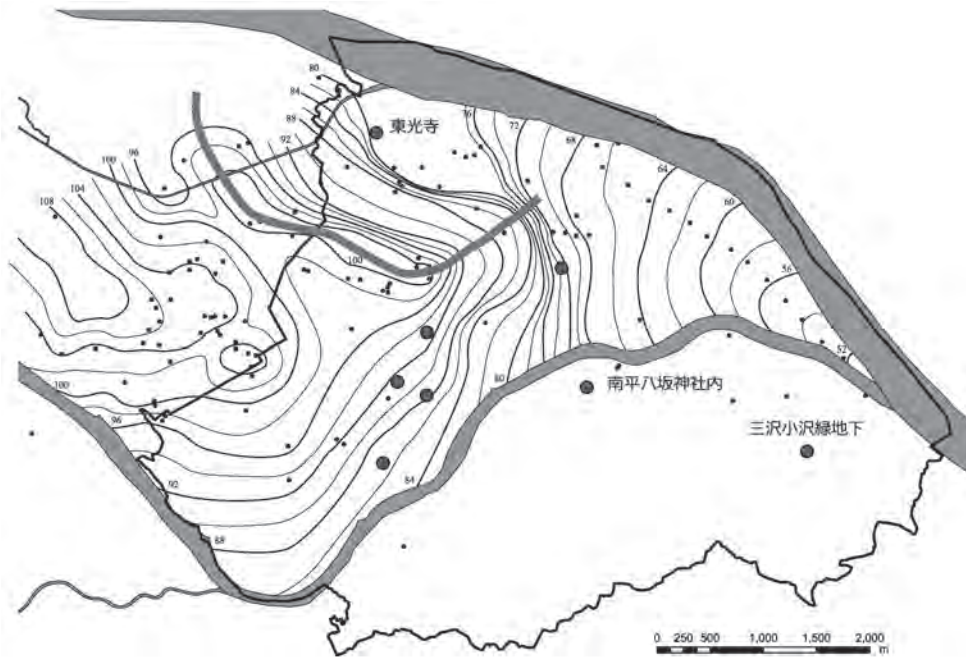


図-5 日野台地の難透水層. 図中の数値は, 推定された難透水層の高さ(海拔, m).

Fig. 5 Impermeable layer of Hino plateau. The numbers in the figure are the heights of estimated impermeable layer (m, a.s.l.).

較することで, V.章で得られた結果との整合性について検討することにする.

多摩丘陵の北西部には東京農工大学の波丘地試験地が位置しており(図-1b), その周辺では, 下位から上位に平山砂層, 三沢泥岩層, 連光寺互層, 御殿峠礫層, およびローム層が発達している(寿円・原田, 1961). 寿円・原田(1961)では, 波丘地試験地の地下表層の電気探査を行ない, 地質や水源について議論している. その結果, 試験地内の湧水は連光寺互層下部の砂礫層に関係するもので, 特に三沢泥岩層との境界からの湧水が多いと述べられている. ここで, 連光寺互層は, 多摩丘陵北縁の崖を模式地として泥岩, 砂礫泥層, 礫層などからなり岩相の変化に富んでおり, 三沢泥岩層は, 青灰色淤泥質粘土層からなる不透水層とされている(寿円, 1958). 連光寺互層の傾斜を考えると, この付近は丘陵の北縁に近いので, 地表からの浸透水の集水面積は狭くなり, 多量の湧水は期待できないと結論づけられている(寿円・原田, 1961).

寿円(1958)による多摩丘陵北西部の地質図を検討すると, 寿円・原田(1961)で述べられている波丘地試験地と, 7. 南平八坂神社内, 8. 三沢小沢緑地下の2地点は, いずれも多摩丘陵北西部に位置してい

る. そして, これらの周辺には三沢泥岩層, 連光寺互層が広がっており, 2地点の湧水は上述した波丘地試験地の湧水と同様の条件下にあるといえる. さらに, Tanaka *et al.* (1988)は, 波丘地試験地における豪雨時の水文観測から, ダルシー則に基づくマトリックス流だけでは説明できない降雨に対する応答の早い地下水流出が存在し, これが全体の9割以上を占めること, そして, これが地中に形成されたパイプ流であることを明らかにしている.

これらは全て, 8. 三沢小沢緑地下の水温の季節変化が大きいことや, この地点で豪雨後にSiO₂濃度が有意に低下することと整合的な結果になっている. なお, 7. 南平八坂神社内については次節で詳しく述べる.

2. 南平八坂神社内の湧水温変化

V.2節で, 近年, 7. 南平八坂神社内の湧水温の季節変化が以前に比べて大きくなっていることを述べた. ここでは, その変化について考察していく.

まず, 水温の季節変化が大きくなっている理由として考えられる環境の変化に着目し, 地形図を用いて周辺地域の土地利用の変遷を追った. 1967年, 1985年, 2000年に国土地理院から発行された1/25000



図-6 7. 南平八坂神社(丸印)周辺の1/25000地形図

Fig. 6 1/25000 topographical maps around 7. Minamidaira Yasaka Jinja (circle).

地形図を図-6に示す。

1967年の時点で、7. 南平八坂神社内の地下水涵養域と推測される多摩丘陵の北部に高幡団地・三井団地の造成が行なわれていることがわかる。そして1985年には、それらの団地は完成しており、2000年でもそれ以上に大規模な変化はみられない。つまり、1967～1985年の間に7. 南平八坂神社内の周辺では大規模な環境の変化があったといえる。一方、日野市の調査が始まったのは1990年からであるため、宅地造成の時期と水質の変化との間に直接の因果関係をみることはできない。しかし、森(2000)では、水文要素は環境変化に伴って変化すると述べられていることから、宅地造成による影響が数年のタイムラグを経てあらわれた可能性もある。

宅地造成により地表面状態が改変されると、これまで地中に浸透していた降水のうち表面流出となる部分が多くなると考えられる。降水の温度は降水時の気温を反映しているため(例えば、新井, 2004)、表面に流出した降水がどこかで地中に浸透し、速やかに7. 南平八坂神社内で湧出しているならば、近年、この湧水の温度の季節変化が大きくなっていることが説明できる。この説明は、7. 南平八坂神社内の湧水において、豪雨時と晴天時の SiO_2 濃度差が大きいことも整合的である(V.2.節)。しかしながら、実際にこのような水みちが存在するかどうかは不明であり、7. 南平八坂神社内の湧水の涵養・湧出機構の解明は今後の課題である。

次に、いつ頃から7. 南平八坂神社内の湧水温度の季節変化が大きくなったのかを特定するために、マハラノビスの距離を用いた判別分析を再び行なった(V.2.節)。日野市の調査データと独自の現地調

査データをまとめて、それぞれの年・月ごとに7. 南平八坂神社内での測定値を、水温の季節変化が大きいグループと、小さいグループのどちらに属するかを調べた。日野市の調査は年度単位で実施されているため、それに合わせてデータをまとめた(表-1)。

筆者たちによる独自の現地調査は2006～2007年にまたがっているため、日野市の調査とは別にまとめている。表-1の一番右の列は、1年間で分類可能な月のうち水温の季節変化が小さいグループに分類された割合を示している。これより、1994～2004年度の期間については水温の季節変化が小さいグループに分類された月が毎年度で平均約7割を占めていることが分かる。その一方、1993, 2005～2007年度では水温の季節変化が大きいグループに分類された月が多くなっている。1993年度については冷夏で多雨だったため(例えば、安成, 1997)、平年に比べて特異な値になっている可能性もある。そこで、1993年度を除くと、7. 南平八坂神社内の湧水温度は2005年度以降に季節変化が大きくなってきたことが表-1からわかる。

地盤調査事務所(2007)によると、7. 南平八坂神社内には、以前は小さな池が存在していたが、現在は湧出地点から擁壁に沿って小川が形成されているという。このため、流下距離が長くなったことに起因して年較差が 10°C 以上に達していると述べられている。しかし、日野市環境共生部緑と清流課における聞き取り調査では、以前と同様の地点で同様の調査を行なっているということから、この現象がみられる原因については、現段階では不明である。2005～2007年度は1993年度のように特異な年だった可能性もあるので、今後も同様の変化があらわれる

表-1 7. 南平八坂神社内における湧水温の判別分析の結果

Table 1 Results of discriminant analysis on spring water temperatures at 7. Minamidaira Yasaka Jinja.

年度	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	季節変化が小さいグループに分類された割合
1990	—	大	小	小	小	大	小	小	小	小	大	大	0.636
1993	大	大	大	大	小	小	小	小	大	大	大	大	0.333
1994	大	大	大	小	大	小	小	小	大	小	小	小	0.583
1995	大	小	大	小	小	小	小	小	小	小	—	—	0.800
1996	大	小	—	小	小	小	小	小	小	—	—	—	0.875
1997	大	大	大	小	小	小	小	小	小	小	大	大	0.583
1998	大	小	大	小	小	大	小	小	小	小	—	—	0.700
1999	大	小	小	小	小	大	大	小	—	小	—	—	0.667
2000	大	小	小	小	大	大	大	小	大	小	小	大	0.500
2001	大	小	小	—	小	小	大	小	小	小	小	小	0.818
2002	大	小	小	小	小	大	小	大	小	小	小	小	0.750
2003	大	小	小	小	小	小	小	小	小	小	小	小	0.917
2004	—	—	—	—	—	—	—	小	小	小	小	小	1.000
2005	小	—	—	大	小	大	小	大	—	—	—	大	0.429
2006	大	大	大	小	小	小	小	大	大	大	大	大	0.333

(—は水温に欠測があって判別分析ができなかった年月)

年	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
2006	—	—	—	—	—	—	—	—	大	大	大	大	0.000
2007	大	大	大	大	大	小	小	大	大	大	—	—	0.200

(—は未測定年月)

のか、継続的に調査していく必要がある。このように、原因の特定は今後の課題であるが、本研究では近年になって7. 南平八坂神社内の湧水温の季節変化が大きくなっていることを客観的に示すことができたと言える。

Ⅶ. 結論

本研究では、日野市にある8つの湧水を対象に、晴天時と豪雨後のSiO₂濃度の違いについて調べ、水温の季節変化との関係について論じた。その結果、1. 東光寺と8. 三沢小沢緑地下の2地点で、豪雨後のSiO₂濃度の平均値が、晴天時の平均値に比べて統計的に有意に低下した。これらの湧水では水温の季節変化が大きいため、地中に浸透した降水が恒温層より浅いところを流れ、速やかに湧出したと考えられる。さらに、対象地域の地形・地質に注目したところ、晴天時と豪雨時のSiO₂濃度の違いと整合的な結果が得られた。

7. 南平八坂神社内の湧水では、日野市が調査を行なった1990～2005年のデータでは水温の季節変化が小さかったのに対し、筆者たちが調査を行なった2006～2007年のデータでは水温の季節変化が大きくなっていった。水文要素は環境変化に伴って変

化することから、これは、周辺地域の環境の変化が数年のタイムラグを経てあらわれた可能性がある。近年になって水温の季節変化が大きくなった理由は解明できなかったため、それは今後の課題である。しかしながら、本研究では7. 南平八坂神社内の湧水で近年、水温の季節変化が大きくなっていることを客観的に示すことができた。

今回、日野市を対象とした理由として、過去からの観測データが蓄積されていることが挙げられる。東京都の湧水に変化が起きていることは、成宮ほか(2006)で明らかになり、それらの変化は今後も続くことが予想される。その時、湧水の変化を捉えるためには、日野市のように観測データを蓄積しておく必要がある。すぐに結果が出るわけではないが、湧水や緑のある風景を守っていくためにも、一貫した継続的な調査は必要である。このように、湧水環境の将来を見据えた調査が行政によって継続的に行なわれることを切望し、本論文のまとめとしたい。

謝辞

日野市の委託調査を行なっている大楽院さん、小林さんには、現地調査に同行させてもらい、採水地点や測定方法などを教えて頂きました。日野市環境

共生部緑と清流課の町田久美子さんには、日野市の湧水調査について詳しく説明して頂きました。日本大学大学院総合基礎科学研究科の森和紀先生には、測定方法など、数々のアドバイスを頂きました。以上の方々に厚く御礼申し上げます。

本研究には、財団法人とうきゅう環境浄化財団2007～2008年度多摩川およびその流域の環境浄化に関する調査・試験研究助成金(研究代表者 松山 洋)を使用しました。

参考文献

- 新井 正(2004): 地域分析のための熱・水収支水文学, 古今書院, 309pp.
- 有馬 哲・石村貞夫(1987): 多変量解析のはなし, 東京図書, 320pp.
- 土木学会編(1990): 仮設構造物の計画と施工, 土木学会, 326pp.
- ジオデータ・コンサルタント編(2001): 湧水量および地下水位計測調査業務報告書 2001年3月, ジオデータ・コンサルタント, pp.20-27.
- Haines TS, Lloyd JW. 1985. Controls on silica in groundwater environments in the United Kingdom. *Journal of Hydrology* 81: 277-295. DOI: 10.1016/0022-1694(85)90035-6.
- 平野晃章・小倉紀雄(1992): 水質変動からみた湧泉の湧出機構推定の試み, 水利科学, 36(2), pp.63-79.
- 平田重夫(1971): 本郷台白糸台における不圧地下水の涵養機構, 地理学評論, 44, pp.14-46.
- 地盤調査事務所編(1993): 湧水涵養域調査委託(その5)報告書, 地盤調査事務所, 88pp.
- 地盤調査事務所編(2002): 湧水量および地下水位計測調査業務報告書 2002年3月, 地盤調査事務所, pp.62-69.
- 地盤調査事務所編(2003): 湧水量および地下水位計測調査業務委託報告書 平成15年4月, 地盤調査事務所, pp.67-74.
- 地盤調査事務所編(2004): 湧水量および地下水位計測調査業務委託報告書 平成16年4月, 地盤調査事務所, pp.67-74.
- 地盤調査事務所編(2005): 湧水量および地下水位計測調査業務委託報告書 平成17年4月, 地盤調査事務所, pp.67-74.
- 地盤調査事務所編(2007): 湧水量および地下水位計測調査業務委託報告書 平成19年4月, 地盤調査事務所, pp.73-80.
- 寿円晋吾(1958): 多摩丘陵の地形と地質, 東京農工大学農学部波丘地農業研究所報, 1, pp.27-45.
- 寿円晋吾・原田静男(1961): 波丘地試験地の地下水探査, 東京農工大学農学部波丘地農業研究所報, 3, pp.50-56.
- 環境管理センター編(1991): 湧水量及び地下水位計測調査委託 平成3年5月, 日野市, pp.20-23.
- 環境管理センター編(1994): 湧水量及び地下水位計測調査業務委託報告書 平成6年3月, 日野市, pp.30-37.
- 環境管理センター編(1995): 湧水量及び地下水位計測調査業務委託報告書 平成7年3月, 日野市, pp.30-37.
- 環境管理センター編(1996): 湧水量及び地下水位計測調査業務委託報告書 1996年3月, 環境管理センター, pp.30-37.
- 環境管理センター編(1997): 湧水量及び地下水位計測調査業務委託報告書 1997年3月, 環境管理センター, pp.30-37.
- 環境管理センター編(1998): 湧水量および地下水位計測調査業務報告書 1998年3月, 環境管理センター, pp.30-37.
- 環境管理センター編(1999): 湧水量および地下水位計測調査業務報告書 1999年3月, 環境管理センター, pp.33-40.
- 環境管理センター編(2000): 湧水量および地下水位計測調査業務報告書 2000年3月, 環境管理センター, pp.33-40.
- 榎根 勇・田中 正・嶋田 純(1980): 環境トリチウムで追跡した関東ロー層中の土壌水の移動, 地理学評論, 53, pp.225-237.
- 金原啓司(1992): 日本温泉・鉱泉分布図及び一覧, 地質調査所, 394pp.
- 木内四郎兵衛(1950): 土壌気象の研究一恒温層深度と温度に関する考察一, 地学雑誌, 59, pp.88-92.
- 森 和紀(2000): 地球温暖化と陸水環境の変化一とくに河川の水文特性への影響を中心に一, 陸水学雑誌, 61, pp.51-58.
- 成宮博之・中山大地・松山 洋(2006): 東京都内の湧水における過去20年間の水温変化について, 地理学評論, 79, pp.857-868.
- 瀬戸信也・岩瀬晃盛・大原真由美(1995): 広島市におけるひと雨の降水特性, 天気, 42, pp.147-158.
- スタッド編(2006): 湧水量および地下水位計測調査業務委託報告書 平成18年4月, スタッド, pp.68-75.
- 角田清美(1991): 日野台地の開発と水文環境の変化, とうきゅう環境浄化財団「多摩川環境調査助成集. vol.13(1991年)」, とうきゅう環境浄化財団, pp.18-41, 75-212.
- Tanaka T, Yasuhara M, Sakai H, Murai A. 1988. The Hachioji experimental basin study—Storm runoff processes and the mechanism of its generation. *Journal of Hydrology* 102: 139-164. DOI: 10.1016/0022-1694(88)90095-9.
- 東京都環境局自然環境部編(2002): 東京の湧水 湧水調査報告 平成12年度, 東京都環境局, pp.11-40.
- 東京都環境局自然環境部編(2003): 東京の名湧水57選, 東京都環境局(冊子体).
- 土屋洋道(1989): 東京西郊, 日野台地の地形と不圧地下水, 東北地理, 41, pp.25-26.
- Wels C, Cornett RJ, Lazerte BD. 1991. Hydrograph separation: A comparison of geochemical and isotopic tracers. *Journal of Hydrology* 122: 253-274. DOI: 10.1016/0022-1694(91)90181-G.
- 安原正也・丸井敦尚・田中 正・高山茂美(1990): 河川水の涵養に果たす賦存深度の異なる地下水の役割—SiO₂濃度に基づく事例研究一, ハイドロロジー, 20, pp.83-95.
- 安成哲三編(1997): 1993年/94年夏の異常気象の解明, 気象研究ノート, No. 189, 290pp.

(受付: 2008年9月30日, 受理: 2008年12月10日)

Estimation of Groundwater Circulation Based on Springwater Temperature and Concentration of Silica along with the Change of Springwater and Its Surroundings —A Case Study of Hino City, Tokyo Metropolis—

Hiroyuki NARUMIYA ¹⁾ Daichi NAKAYAMA ²⁾ Hiroshi MATSUYAMA ²⁾

¹⁾HoYu-Gakuin High School
(6-1-23, Nishi-Ooi, Shinagawa, Tokyo 140-8608, Japan)

²⁾ Graduate School of Urban Environmental Sciences, Tokyo Metropolitan University
(Department of Geography, 1-1, Minami-Ohsawa, Hachioji, Tokyo 192-0397, Japan)

Hino City, Tokyo Metropolis, continuously monitors eight springs. The seasonal change of water temperature at two of these springs is remarkably large. Since there are no hot springs in Hino City, this seasonal change must be explained by the ground heat flux, *i.e.*, the two springs must be recharged by groundwater running in a shallower layer than the isothermal layer. Specifically, rain falling on the ground is expected to infiltrate and drain rapidly into these two springs.

In order to confirm this, we conducted a field survey focusing on the concentration of silica, which is hardly found in rainfall. Four heavy rainfalls occurred from September 2006 to October 2007 when the amount of rainfall exceeded about 10 % of the annual rainfall of AMeDAS Hachioji (1,572 mm), nearest Hino City. At these two springs, the average concentration of silica after the heavy rainfalls was statistically smaller than that of the clear days (11 times). In contrast, the average concentrations were not statistically different at the other six springs, and there was a smaller seasonal change of spring temperature. These results imply that the recharging and draining systems of springs in Hino City will be different even though they are located in the same city.

In one spring, the seasonal change of water temperature from 1990 to 2005 was regarded as small based on the monitoring of Hino City. However, the seasonal change increased from 2006 to 2007, as determined by discriminant analysis. This study thus depicted the changes of the springs along with their surroundings.

Key words : spring, water temperature, concentration of silica, Hino City, discriminant analysis

わきみずおん ゆうしゆつりょう のうど もと かんよう ゆうしゆつきこう すいてい
湧水温、湧出量とシリカ濃度に基づく涵養・湧出機構の推定

とうきょうとひのしれい
—東京都日野市の例—

(研究助成・学術研究VOL. 38—NO. 280)

著者 まつやま ひろし
松山 洋

発行日 2010年3月31日

発行者 財団法人 とうきゅう環境浄化財団

〒150-0002

東京都渋谷区渋谷1-16-14 (渋谷地下鉄ビル内)

TEL (03) 3400-9142

FAX (03) 3400-9141

<http://home.q07.itscom.net/tokyuenv/>