

簡易湧水調査による斜面表層地下水性状把握の試み —世界遺産後背斜面における調査事例—

Approaches to Perceive Behaviors of Groundwater by Basic Measurement of Springs
- A Case Study on Slopes Behind a World Heritage -

仲矢順子¹・深川良一²・酒匂一成³

Junko Nakaya, Ryoichi Fukagawa and Kazunari Sako

¹ともえ地盤情報室 (〒520-1212 滋賀県高島市安曇川町西万木908-7)

Representative, Tomoe Geo Info

²立命館大学教授 理工学部都市システム工学科 (〒525-8577 滋賀県草津市野路東1-1-1)

Professor, Ritsumeikan University, Dept. of Civil Engineering

³鹿児島大学助教 工学部海洋土木工学科 (〒890-0065 鹿児島市郡元1-21-40)

Assistant Professor, Kagoshima University, Dept. of Ocean Civil Engineering

In this study, the periodic measurement of temperature and water analyses (before rainfall and five days after rainfall) were conducted at springs outwelling on the west slope of Mt. Kiyomizuyama in Kyoto City. The result showed that water from each springs have each properties: pattern of annual temperature fluctuation such as ranges and timings of peaks, composition of dissolved ions and densities of dissolved matters after rain. These variations may be indication of the differences in the properties of the groundwater of springs. Hence, these surveys of spring water can help us gain a better understanding of groundwater that may cause of slope failures.

Keywords : mountain slope, spring, ground water survey, ground water temperature

1. はじめに

国土の7割を山地が占める日本において、衣食住の支えとなる水源や動植物等生物資源の豊富な山地が平野同様に人々の生活の場となるのは必然であった。一方で、活発な地殻変動と湿潤温暖な気候によって脆弱化した地質で構成された日本の山地に暮らすことは頻発する土砂災害と対峙することでもあった。このような山地のもたらす恵みへの感謝を示すと同時に災いを鎮めるために山地に建てられた寺社仏閣は、周辺の自然的景観と一体化した歴史的文化遺産として先人達の文化や技術を現代に生きる我々に伝えている。このような歴史的文化遺産はそれ自体がかけがえのないものであり、その遺産を後世へ引き継ぐべく維持管理に努めている関係者や鑑賞者、観光客などとともに災害から護るための方策が求められている。

筆者らは、山地で発生する土砂災害の中で特に斜面表層崩壊から文化遺産を護るための研究を進めてきた。斜面崩壊発生の予測や対策手法の検討を行う上で、斜面地盤内部の水の動きを捉えることが非常に重要と考えられる。不均質な地盤内部を流動する地下水は不均質な動きを示し、地下水が集中的に流動する経路—水みちは、豪雨という表層崩壊の主要な誘因に大きな影響を受ける場所として表層崩壊の主要な素因を持つ場所であると同時に、地下水挙動に大きな影響を与える地盤の間隙や保水性などについて周囲と異なる特性を持つ場所であると考えられる。そこで、筆者らは京都市にある世界文化遺産 清水寺の境内後背斜面において2009年より1m深地温探査による水みち把握を試みてきた¹⁾。その結果、境内後背斜面の調査対象範囲には複数の水みちが存在すると考えられ、想定水みちのいくつかはその延長線上に湧水箇所が存在することも確

認した。しかし、この水みち想定は平面分布の把握のみであり、水みちの三次元的な分布は把握できていない。また水みちの分布という情報は静的なものであり、斜面表層崩壊の要因として水みちを捉えるためには水みちを流れる地下水が豪雨時にどのような挙動を示すかという動的な情報も重要である。

ここで筆者らは、通常は地盤内を流動しているために直接接触することのできない地下水が地表に顕在化したものである湧水に着目した。本報告では、清水寺境内後背斜面の想定水みち末端に湧出する湧水、および境内後背斜面に近接する高台寺山国有林内の斜面に見られる複数の湧水について、定期的な温度計測および2回の水質分析の結果を示すとともに、そのような比較的簡易な調査によって水みちや地下水の特性がどの程度把握できるのか、考察を行う。

2. 調査地概要

本論文の調査対象地は、京都市東山区の清水寺境内後背斜面（以下、境内後背斜面）および同じ山体斜面で近接する高台寺山国有林内の溪流沿い東斜面（以下、国有林斜面）である。

(1) 地形

調査対象地である境内後背斜面および国有林斜面は、京都盆地の東縁を形成する山地の一部である清水山（標高242m）の西側山腹に位置している（図1）。

境内後背斜面は、比高約20m（標高130～150m）、幅約120m、平均勾配約40°の急勾配斜面であり、その末端には清水寺が有する重要文化財建造物（北から釈迦堂、阿弥陀堂、奥の院）が近接している。境内後背斜面にはヤマザクラが植栽され、幅1m程度の遊歩道が作設されているほか、重要文化財に近接する斜面末端には石積擁壁が設けられるなど、多くの人為的な改変が加えられていた。

国有林斜面は溪流を有する南北方向に発達した谷の東側面である。斜面は谷底から尾根までの水平距離約30～100m、比高約10～70m、平均斜度30°～45°で、多くの谷地形や崩壊跡地形を有して起伏に富んでいた。谷底には、その谷の源頭にあたる清水山稜線から水平距離約100m下流地点に湧水箇所（図1内のj）があった。この湧水箇所より下流側は表流水のある溪流となっていたが、湧水箇所より上流側は常時伏流して降雨時にも表流水はほとんど認められなかった。また湧水箇所より下流側でも、降雨の少ない時期には部分的な伏流が見られた。また谷底から3～5m上方には、谷筋に沿って清水山稜線まで登る遊歩道が幅3～5mで設けられていた。遊歩道は外観から判断して全延長の大半が切土によって造成されていた。遊歩道の一部区間では山側斜面裾に高さ1m程度の石積が設けられていた。調査範囲区間中央付近には過去の崩壊復旧工と考えられるコンクリートパネルによる幅5m程度の土留工が施されていた。それ以外にも遊歩道より上方の斜面には浸食防止策と考えられる石積土留工やコンクリート張が複数確認できたが、いずれの施設についてもその設置時期や経緯の確認はできていない。

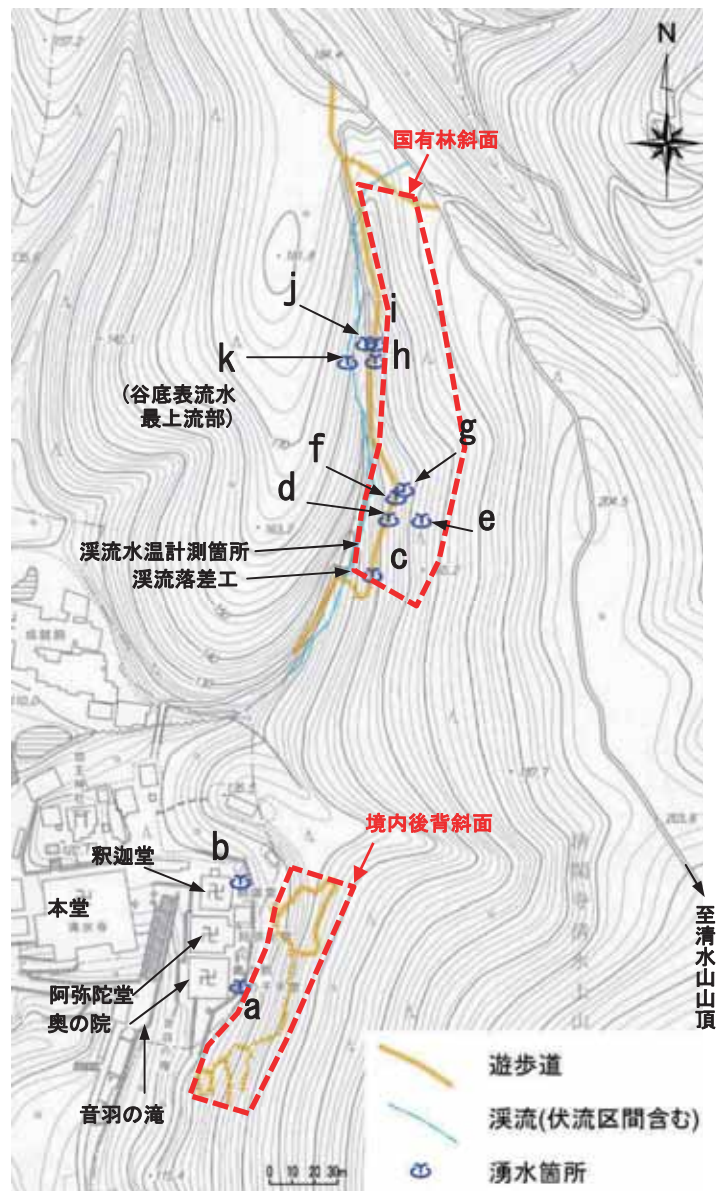


図1 調査地の概要

アルファベットは湧水箇所を示す。

2,500分の1京都市都市計画地図「清水寺」（2000年測量）をもとに調製。

(2) 地質

清水山の基盤は丹波層群の中・古生層からなり、調査地付近には主にチャートや泥岩が分布している²⁾が、調査対象とした境内後背斜面の全体および国有林斜面のほとんどの最表層は礫・砂混りシルトを主体とする崩積土で覆われていた。

既往の調査により、崩積土の厚さは境内後背斜面で0.9～2.0m程度³⁾、国有林斜面で0.4～3m程度⁴⁾であることが確認されている。また国有林斜面では、遊歩道面に部分的に基盤岩の露頭が確認された。

3. 現地調査と結果

(1) 湧水箇所調査

境内後背斜面および国有林斜面には、多くの湧水箇所が存在した。それらの存在位置と湧水状況を踏査により確認したところ、おおむね常時湧出のある箇所（長期間にわたり降雨のない時期には湧出が止まる箇所も含む）と、豪雨時およびその直後のみ湧出が確認できた箇所があった。本報告では、常時湧水箇所を対象に論じる。

境内後背斜面、国有林調査斜面とも、常時湧水の認められる箇所が複数確認できた。その位置を図1に示す。

境内後背斜面では、調査範囲の末端にa, b 2箇所の湧水箇所を確認した。いずれの湧水箇所とも、境内後背斜面における1m深地温探査によって想定された水みち¹⁾の延長線上に位置していた。

湧水aは重要文化財建造物である奥の院の背面に位置し、湧出箇所は斜面末端より約5m上方にあると考えられたが、湧出箇所には用水タンクが設けられており、斜面からの湧出箇所を直接観察することはできなかった。この湧水は用水タンクから寺内用水が分配されており、分配された後の余剰水が奥の院背面に設置されたパイプから吐出していた。

湧水bは釈迦堂背面に建造されている延長20mの石積擁壁水抜き穴からの排水であった。この石積擁壁には複数の水抜き穴が設置されているが、常時排水が認められたのは、擁壁延長中心付近の最下部、前面水路壁面にある管1箇所のみであった。

なお、観光名所としても有名な音羽の滝は、調査対象斜面のさらに下方の斜面裾に位置している。

国有林斜面では7箇所（図1, c～i）の常時湧水箇所を確認した。これらのうち、c, d, f, h, iは谷底から3～5m程度上方の遊歩道沿い斜面尻に見られたものである。c, f, h, iは土砂露頭からの浸み出し程度であったのに対し、dは岩塊の隙間のような場所から湧き出して他より流量が大きく、樋やバケツが設けられた水汲み場となっていた。dの湧き出す岩塊の隙間のような場所が、基盤岩であるか崩積土の中の礫群であるかは確認できていない。e, gは遊歩道より上方の斜面に見られたものである。湧水eは湧水dから約15m斜面上方に位置し、5～10m程度の区間地表面を流下したのち浸透伏流していた。また、jは遊歩道脇の斜面尻から約1m西に離れた遊歩道上のくぼみに湧出していた。

国有林斜面末端の谷底では、溪流源頭部に湧水kが認められた。それより上流側には、常時地表水は認められなかった。kの湧水箇所は上流側に向かって左右2箇所に存在していた。

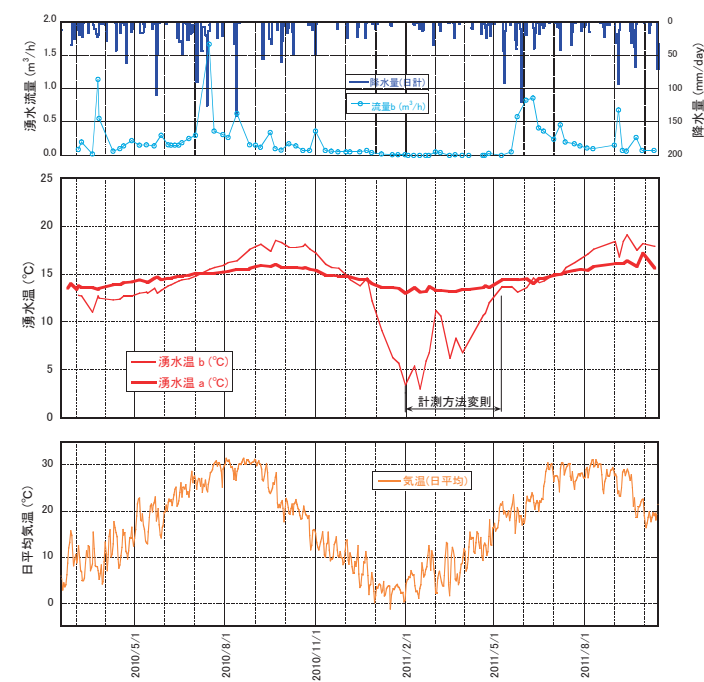
なお、溪流水量は源頭のkから調査範囲南端の落差工付近までに増大していたことから、東斜面の湧水のうち流量の比較的大きなd, fが合流していた以外にも谷底側面からの湧水があることが考えられたが、調査期間中には確実な湧水箇所が確認できなかった。なお、降雨の少ない時期の溪流水は、調査範囲南端の落差工背面約5mの区間で伏流していることが多かった。

(2) 湧水温計測

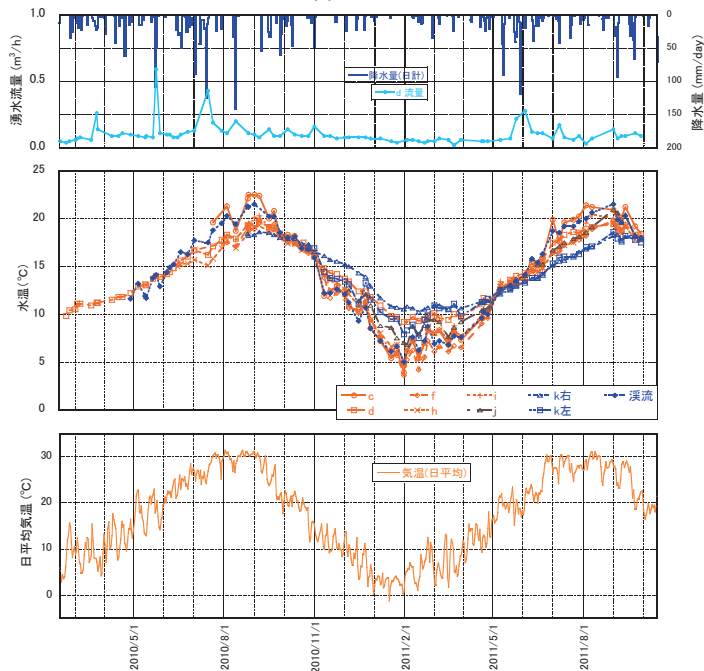
境内後背斜面および国有林調査斜面の湧水および溪流水について、その温度を定期的に計測した。

a) 計測方法

計測は、境内2箇所（a, b）、国有林9箇所（c, d, f, h, i, j, k右, k左および溪流水）にて（図1）、2010年2月～2011年9月の期間におおむね1週間に1回の頻度で行った。ただし計測開始時期は箇所によって異なる。計測機器は、デジタル温度計SK-1250MC III α とサーミスタセンサMC-T100III（ともに株式会社佐藤計量器製作所製、分解能 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 、精度 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ ）を用いた。



(a) 境内



(b) 国有林

図2 湧水温計測結果

降水量, 日平均気温は気象庁京都地方気象台計測値⁵⁾

渓流源頭のk右（同8.4℃），国有林遊歩道脇水汲み場湧水d（同10.5℃），国有林渓流源頭k左（同11.1℃）が小さく，それ以外は年較差が14℃を超えていた。しかし，もっとも年較差の大きかった国有林湧水cでも18.6℃であり，日平均気温の年較差32.6℃と比べて大幅に小さかった。また境内湧水bについて，2010年12月下旬～2011年5月上旬の期間，水温が他の期間の変動傾向と異なって大幅に低下しており，年較差が16.1℃と比較的大きかった。しかし湧水bの水温低下期間は流量が0.04m³/h未満と非常に少ない状態であった。この期間の水温値が不自然に低かったのは，調査方法に示した1月末～5月上旬の変則的な水温計測方法によることも考えられるが，そもそも流量が極めて少なかったことにより湧水温が計測箇所に達するまでに水抜き管内の気温の影響を大きく受けて低下していたのではないかと考えられた。流出量が0.02m³/hであった2010年3月19日の水温がその前後と比べて低かったことも，同じ理由によるものと考えられた。逆に，2011年2月28日～3月1日に事前降雨（2日間計43.5mm）を得て一時的に流量が0.04～0.05m³/hまで回復していた3月3日およ

水温の計測方法について，湧水a, b, dでは十分な湧水量が得られたため，約1Lの容器に湧水を一定時間溜めて水温に馴染ませた後，その容器に再度湧水を溜め，溜めた水の中にセンサーを挿入して水温を読み取った。ただし，bについては2010年1月末～2011年5月上旬の期間，ほとんどの計測日において流量が0.01m³/h以下と極めて少量で上記の方法での水温計測が困難であったため，排水管（塩ビ管，内径40mm）底部の湧水が溜まった箇所にセンサー検知部を沿わせることで水温を計測した。

上記3箇所以外の湧水箇所では，湧出量が少なかったり湧出形態が土砂露頭からの浸み出しであったりしたことから，湧水を容器に受けて溜めることが困難であった。そのため，浸み出し箇所にセンサーを挿入して温度計測を行った。

国有林渓流水の温度については，図1に示す計測箇所において水がよどまずに流動していた箇所にセンサーを水浸することで計測した。

なお，参考のために境内湧水bと国有林湧水dで水温計測時に湧水量の計測も実施した。湧水bでは塩ビ管から流出する水を，湧水dでは水汲み用に設けられた樋を伝ってきた水を容器に受け，500mL～1L程度溜まるまでの時間を計測することにより流量計測を行った。ただし，国有林湧水dの樋は岩塊の割れ目の間に固定されずに差し込まれていただけであり，すべての湧水を拾っていたわけではなかった。したがって，この計測で得られた湧水dの流量は，量の大小の目安程度でしかない。

b) 計測結果

境内湧水温の計測結果を図2(a)に，国有林湧水の計測結果を図2(b)に，それぞれ日降水量および日平均気温⁵⁾とともに示す。

いずれの水温も夏期に高く冬季に低い季節変動を示していたが，年較差は計測箇所によって大きく異なっていた。年較差が最も小さかったのは境内のa（年較差4.2℃）で，次いで国有林

び3月8日の水温は2010年10月～12月の水温低下傾向のほぼ延長線上にあり、これらの値が冬季の湧水bの本来の水温であると考えられた。したがって、湧水bの本来の年較差は10℃程度なのではないかと推測された。なお、境内湧水aについて、2011年9月29日にそれまでの水温変動と異なる突出して高い水温が計測された。この時期、湧水a付近では寺内工事の準備が行われており、湧水aの計測直前まで計測箇所への導水が一時的に止められていたことから、湧水a本来の水温が計測できなかった（導水停止期間中に導水管の温度が気温の影響を受けた）のではないかと考えられた。

水温のピーク時期について、境内の2箇所は、日平均気温のピーク時期より1～2ヶ月の遅れが認められた。それに対して国有林では、湧水d、溪流源頭湧水k左、k右を除く箇所でのピーク時期が日平均気温のピーク発生時期より半月～1ヶ月程度遅れであり、境内よりも遅れ期間がやや小さかった。湧水d、k左、k右にピーク発生は境内とほぼ同じく1～2ヶ月の遅れであり、国有林の他の箇所とは異なる傾向を示した。

各計測箇所の水温は、年間変動傾向とは別の一時的な変動も示していた。それらの大半は降雨やそれに伴う湧水量増大と同時期に発生していたように見えた。

(3) 湧水水質調査

境内および国有林の湧水箇所および溪流について、試料を採取し水質分析を実施した。地下水は、その流動経路で様々な物質を取り込むことから、その水質を分析することで地下水がどのような経路をたどって流下してきたか、降雨浸透水の影響をどの程度受けているかなどを推測することができる。この調査では、特に各湧水箇所へつながる地下水流路への降雨浸透水の影響度把握を目的として、降雨の少ない時期と降雨後の2回、現地採水による水質分析を実施した。

a) 採水・分析方法

現地での採水は、2011年9月5日と2011年10月13日の2回行った。9月5日は採水当日までの5日間累積雨量93mmという降雨後であり、10月13日は採水前日まで5日間降雨が記録されなかった無降雨時であった。

採水は、図1に示す境内湧水a、b、国有林湧水d、e、f、k左で実施した。それらに加え、国有林渓流水を図1に示す水温計測箇所（溪流1）とその30m上流側（溪流2）の2箇所にて採水した。

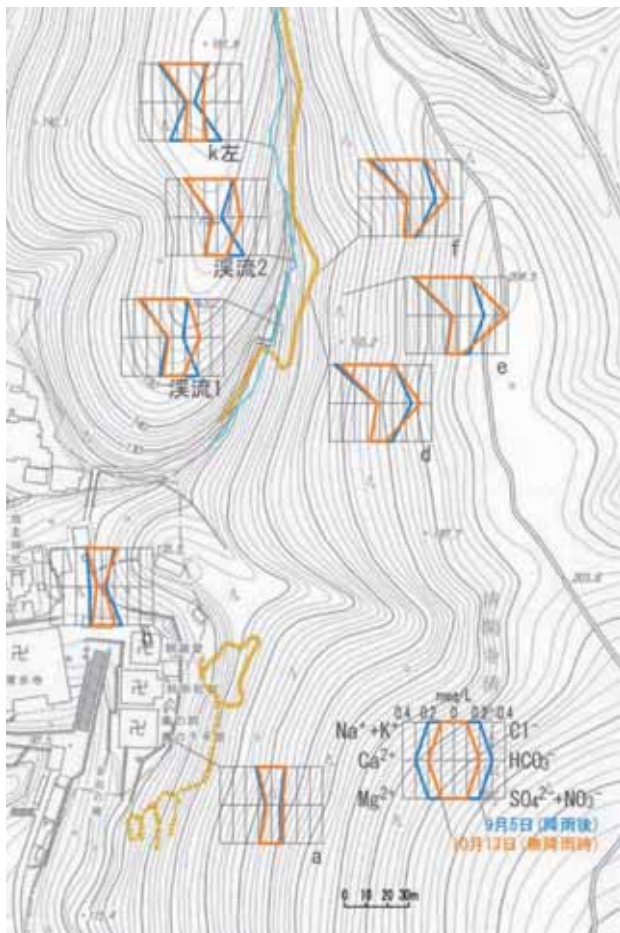
採水に際しては、湧水箇所から試料びんに直接注ぎ込むことが可能な箇所については、共洗いした試料びんで湧水を直接受けて採取した。湧水箇所に試料びんをあてがうことができないような箇所では、漏斗やビニールチューブを用いて湧水を試料びんに導いた。渓流水は、試料びんで直接くみ上げた。

分析項目は、 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 HCO_3^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、水素イオン濃度（pH）、曝気後水素イオン濃度（RpH）、電気伝導度、溶存酸素量、濁度の13項目とした。現地採水試料のうち、溶存酸素量の分析に供する試料は、専用のガラスびんに採取水を満たした後、固定用薬剤（試料100ml当り、硫酸マンガン（II）溶液1ml、アルカリ性よう化カリウム-アジ化ナトリウム溶液1ml）を加えて空気が入らないように密栓した。また重炭酸イオンの分析に供する試料も専用のガラスびんに満たして空気が入らないように密栓した。溶存酸素量と重炭酸イオン以外の分析項目用試料はポリエチレン製の試料びんに入れた。分析は、（株）西日本技術コンサルタント（滋賀県草津市）に依頼した。各項目の分析方法は、日本工業規格の工場排水試験方法にしたがったが、これに規定のないRpHは第3版水質調査法⁶⁾にしたがった。

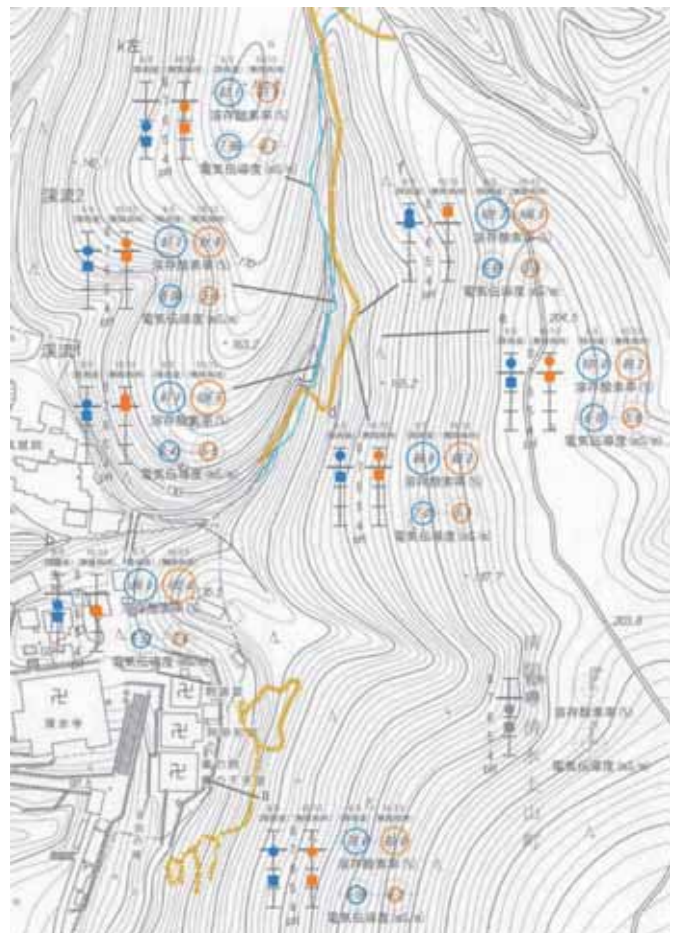
b) 分析結果

水質分析の結果を、 Na^+ 、 K^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 、 HCO_3^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} の溶存イオン組成はヘキサダイアグラムで図3(a)に、pH、RpH、電気伝導度、酸素飽和度はそれぞれをグラフ化して図3(b)に示した。酸素飽和度は、分析で得られた溶存酸素量と試料採取時の水温から、試料採取時の水温における酸素飽和溶解量に対する溶存酸素量の比率を算出したものである。

溶存イオン組成について、境内湧水と国有林湧水の組成は大きく異なっていた。境内の2箇所はいずれも溶存イオン量が国有林の湧水、溪流水より少なかったが、aとbも互いに若干組成が異なっていた。特にaは降雨後と無降雨時の組成がほぼ同等であったのに対してbは無降雨時に Ca^{2+} と HCO_3^- の濃度が特に小さくなり、aとは異なる傾向を示した。国有林斜面の湧水d、e、fは、降雨後、無降雨時とも Na^+ と HCO_3^- が卓越する互いに似通った組成を示したが、国有林溪流源頭のk左は国有林斜面湧水とは異なり HCO_3^- の卓越はなく、降雨後はむしろ Ca^{2+} と HCO_3^- の濃度が他イオンより低い組成を示した。無降雨時のk左の組成は境内湧水aと比較的類似していた。溪流水は、溪流1とその30m上流の溪流2ではほぼ同様な組成を示したが、降雨後の組成は溪流源頭のk左と類似した Ca^{2+} と HCO_3^- の濃度が他イオンより低い組成、無降雨時の組成は東斜面湧水と類似し



(a) 溶存イオン組成



(b) pH, RpH, 電気伝導度, 溶存酸素量

図3 湧水, 渓流水の水質分析結果

た Na^+ と HCO_3^- が卓越する組成を示し、降雨の有無で異なる傾向を示した。

pHとRpHについて、pHは4.9~7.6、RpHは5.7~7.6と箇所毎の差が大きかったが、最大値は同じであった。ほとんどの箇所ではRpHがpHより0.5~1程度大きい値を示した。特に境内aでは降雨後、無降雨時ともRpHがpHより1.5大きかった。降雨後と無降雨時を比較すると、境内や国有林斜面の湧水はほとんど差がなかったが、国有林の溪流1, 2及び溪流源頭k左では降雨後より無降雨時の方がpH, RpHとも高い傾向があった。また、国有林斜面の湧水および溪流1, 2はpH, RpHとも高い傾向があった。

電気伝導度は、いずれの箇所でも降雨後、無降雨時とも10mS/m未満と低かった。

酸素飽和度は、ほとんどの箇所では降雨後、無降雨時ともほぼ100%に近い値を示した（100%を超えた値は計測誤差と考えられる）が、境内aは降雨後78.6%、無降雨時83.0%、国有林溪流源頭k左は降雨後83.1%、無降雨時61.9%と、比較的低い値であった。

4. 考察

(1) 湧水温

湧水温の年較差と日平均気温に対するピーク発生時期の遅れについて、年較差が小さかった境内a、国有林斜面dおよび溪流源頭k右、k左は、ピーク発生時期の遅れが他の湧水より大きい傾向が認められた。年較差が比較的大きかった境内bもピーク発生時期の遅れが境内aなどと同様に大きかったが、調査結果で記したとおり境内bの年較差は実質10℃程度と考えられ、これは国有林斜面dと同程度に小さい年較差であり、やはり年較差の小さい湧水箇所はピーク発生時期の遅れが大きかったと言える。

ある湧水温の年較差が小さくピーク発生時期が遅れるということは、その湧水源である地下水が他より気温の影響を受けにくいと考えられる。地下水が気温の影響を受けにくくなる要因としては、

地下水流路が地表面から深い場所にあること（地下水までの熱伝導距離が大きいこと）、地下水流量が豊富であること（地下水塊の熱容量が大きいこと）のいずれか、あるいは両方が考えられる。

湧水温は季節変動に加えて短期的な変動も示した。短期変動の大半はまとまった量の降雨の直後と考えられたため、境内aおよび国有林dの湧水量が増大した計測日の事前降雨量と境内および国有林の湧水温の変動傾向を表1にリストアップした。2010年12月23日は2箇所の湧水量計測箇所で湧水量増大が認められなかったが、湧水温の一時変動が顕著であったためリストに加えている。リストアップした全13計測日のうち、境内では11計測日、国有林では8計測日に水温の一時変動が確認された。変動は下降の場合が多かったが、上昇した場合もあった。また境内aおよび国有林溪流源頭k右は、他の箇所と比べて一時変動が目立たなかった。

降雨後の湧水温の一時変動は、地下水とは異なる温度の降雨浸透水が地下水流路に短期的かつ大量に流入することによって起こったのではないかと考えられる。一時変動が上昇であったり下降であったりしたのは、そのときの降雨浸透水の温度によったものと考えられるが、降雨水温や浸透水の水温についての計測値がないため明確なことは言えない。しかし、多くの箇所が一時的な水位変動を示した計測日にほとんど変動を示さなかった境内aおよび国有林溪流源頭k右においては、その背面の地下水経路が降雨の影響を受けにくい可能性があると言える。

(2) 水質

地下水は地層を流動する間に岩石などを溶解して水質成分を獲得する⁷⁾ため、湧水の水質はそこへつながる地下水流動経路の情報を有していると言える。

同じ山体を流れる地下水の流末であるはずの境内湧水と国有林斜面湧水の溶存イオン組成が大きく異なっていたことについて、それぞれの湧水へ続く地下水の地中流動期間の差が考えられる。境内湧水より溶存イオン濃度が全体に高かった国有林湧水は、それらに続く地下水が地中を流動していた時間が比較的長いのではないかと考えられる。逆に境内湧水へ続く地下水は地中を流動していた時間が比較的短かったと考えられる。また境内湧水aとbの間でも溶存イオン組成やpH、RpH、酸素飽和度に違いがあり、これら互いに45mしか離れていない2箇所の湧水につながる地下水経路は互いに独立したものである可能性が高い。一方、国有林斜面のd、e、fは溶存イオン組成が互いに良く似ていた。しかしdはe、fより年較差が小さく、降雨後（9月5日）と無降雨時（10月13日）の溶存イオン組成の違いもe、fと比べて小さいことから、3箇所の湧水は完全に同じ地下水経路を起源にしているわけではなく、一部経路を共有あるいは互いに連絡のある複数の経路の末端であるのではないかと考えられる。

降雨後と無降雨時の水質を比較した場合、境内a以外の湧水および渓流水は溶存イオン組成に違いがあった。特に渓流水1、2は、無降雨時の組成が斜面湧水d、e、fと類似していたのに対して降雨後の組成が渓流

表1 湧水量増大時の一時的な水温変動

湧水流量 Δ：増大，→：常時同等

水温 Δ：一時的上昇，▼：一時的下降，→：年間変動並

計測日	事前降雨(mm)		境内		国有林		備考
	2日前降水量	前日降水量	湧水a流量	水温	湧水d流量	水温	
2010年3月25日	17.5	22	Δ	Δ	Δ	→	国有林水温データは湧水dのみ
2010年5月24日	0	109	Δ	▼	Δ	Δ	境内湧水bは流量過大で計測不能
2010年7月16日	125	14.5	Δ	→	Δ	▼	
2010年8月13日	0	141	Δ	▼	Δ	▼	
2010年9月16日	0	25.5	Δ	▼	Δ	▼	
2010年11月1日	1.5	48	Δ	→	Δ	→	
2010年12月23日	23	1	→	Δ	→	Δ	
2011年5月25日	40	34	Δ	▼	Δ	→	
2011年6月3日	20	19	Δ	▼	Δ	→	
2011年6月10日	0	0	Δ	Δ	Δ	Δ	
2011年7月8日	9.5	43	Δ	▼	Δ	▼	
2011年9月5日	22.5	93	Δ	▼	→	▼	
2011年9月23日	67	3.5	Δ	▼	→	→	

降雨量は気象庁京都气象台計測値⁵⁾

源頭k左の組成と類似しており、このことは溪流への流入水が無降雨時には溪流東側の斜面地下水優勢、降雨後には溪流源頭すなわち谷上流側優勢であることを示していると考えられる。

境内aの溶存イオン組成が降雨後と無降雨時でほぼ同等だったことについて、これにつながる地下水が降雨の影響を受けにくいことが考えられる。このことは、境内aの降雨後の湧水温一時変動が他の箇所と比べて小さかったことと矛盾しない。

5. まとめ

清水寺境内後背斜面および近接する国有林斜面に見られる複数の湧水の水温計測、水質分析を実施した結果、同じ山体からの湧水であってもその水温変動特性や水質、降雨時の挙動は多様であることが分かった。

湧水の水温や水質は、湧水につながる地下水やその流動経路の特性を想定する手がかりになる情報である。しかし、地下水の水温や水質は複数の要因によって定まるものであるため、湧水の水温と水質のみから地下水の挙動やその斜面安定上の重要度などを明確にすることは困難である。

想定水みちの深度を直接的に確認し、かつ水みちでの地下水挙動を経時的に把握する方法としては、地中に間隙水圧計や土壌水分計などセンサーを多深度設置することが直接的かつ定量的データを得るために有効である。しかしセンサーやロガー、電源などの設備は費用がかかり、またセンサーを土中に設置するための掘削作業などは労力がかかるのみでなく、文化財に近接する斜面であれば庭園管理や景観などへの影響が懸念される場合もある。一方、湧水の水温度計測や水質分析は現地をほとんど乱すことなく比較的簡易な機材で実施が可能であることから、多少の手間はかかるものの、複数箇所での継続的な計測を行うことについてのハードルが低い。また、センサー設置による計測の前に行うことにより、センサー設置箇所の適切な選定による効率的な詳細計測も可能になると考えられる。また、特に水温計測は特別な熟練を要する作業ではないため、防護対象である文化財等の関係者が自身で継続的に計測を行うことによる現状認識と防災意識の向上という効果も期待できると考えられ、今後の積極的な実施検討が望まれる。

謝辞：本研究に関わる清水寺後背斜面における現地計測・調査においては、清水寺関係者各位の全面的なご協力により、また高台寺山国有林内における計測・調査は近畿中国森林管理局 京都大阪森林管理事務所の許可をいただき、可能となった。現地踏査、計測、採水作業においては、深川研究室の秋鹿孝太氏（2010年度在籍）、赤木基晋氏（2011年度在籍）の協力を得た。皆様に心より感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 仲矢順子・酒匂一成・光谷俊祐・深川良一：急勾配斜面表層における水文環境—清水寺後背斜面における地下水流路調査—，歴史都市防災論文集，Vol. 4，pp. 83-90，2010.
- 2) 日本の地質『近畿地方』編集委員会編：日本の地質 6 近畿地方，共立出版，1987.
- 3) 酒匂一成・深川良一・岩崎賢一・里見知昭・安川郁夫：降雨時の斜面災害防止のための重要文化財周辺斜面における現地モニタリング，地盤工学ジャーナル，Vol. 1，No. 3，pp. 57-69，2006.
- 4) 立命館大学COE「文化遺産を核とした歴史都市の防災研究拠点」清水寺調査研究グループ：清水寺周辺の斜面防災に関わる基礎研究のための調査・観測 報告書（中間報告），2005.
- 5) 気象庁：気象統計情報，<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>.
- 6) 半谷高久・小倉紀雄：第3版 水質調査法，丸善，1995.
- 7) 水収支研究グループ編：地下水資源・環境論—その理論と実践—，共立出版，1993.