P-081

堆積岩山地における水温に着目した地下水流動特性の推定

京都大学大学院農学研究科　○柴田俊・正岡直也・小杉賢一朗

１．背景と目的

深層崩壊の発生には山体地下水の影響が大きく、地下水が集中するメカニズムを解明することは崩壊の発生予測において有用である。また、地下水を人が生活に用いる際においても、地下水が集中するメカニズムを解明することは安定的で持続可能な利用を目指すうえで重要である。このように近年、山体地下水の解析の重要性が高まっているが、特に堆積岩山地は流域間で流出特性が異なる場合が多く、地下水の動きが複雑となるため研究が遅れている。そこで本研究では、堆積岩を基岩とする山地源流域において地下水の温度に着目し、地下水が集中して流れている場所を発見することを目的とする。

２．調査地と方法

観測は滋賀県甲賀市（以下信楽サイト）で行った。信楽サイトの地質は中古生層堆積岩であり走行・傾斜は図 1 中に示した通りである。本研究では全流域（図 1）を調査の対象とした。

地下水の水温は一般的に 50cm の深さで一日の変化が、10m で一年の変化がほとんどなくなると言われており、一般的に深くなればなるほど地下水水温の年周期変換の振幅は小さくなり、気温との位相のずれは大きくなる。しかし、実際に信楽サイトの地下水水温を観測してみると、この法則に則っていない場所が見受けられた。これは、深度の深い場所の地下水であっても、浅い深度の地下水が迅速に流入しているために起こっていると予想される。よって本研究では全流域、全深度の地下水の水温データを対象として、マイクロソフトエクセルのソルバー機能を用い、水温の年変化のグラフをサインカーブで近似することで振幅と位相のずれを算出した。そして求めた振幅から以下に示すフーリエの法則を用いることにより各地下水の κ（熱拡散率）を算出し、その熱拡散率を比較することにより、地下水の流れを考察した。

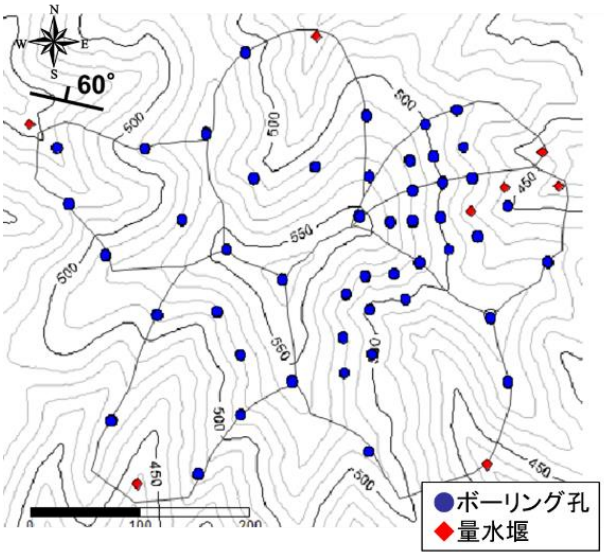

図 1 信楽流域地図

フーリエの法則に基づけば表面温度 T が

$T(0,t)=T_0\sin(\frac{2\pi}{\tau}t-\phi)$ の半無限固体のとき

深さ z の地中の温度は

$T(z,t)=T_0\exp(-z\sqrt{\frac{\pi}{\tau\kappa}})\sin(\frac{2\pi}{\tau}t-z\sqrt{\frac{\pi}{\tau\kappa}}-\phi)$ で表される(1)。

T_0 は表面温度の変化幅、τ は周期、t は時間、κ は熱拡散率（温度伝導率）、ϕ は位相のずれである。年周期で水温は変化するので τ=365.25 日とし、信楽サイトの気温から T_0=11.878℃とした。地下水の水温はその深さの地温によって決まるとし、地下水水温の振幅の値から熱拡散率を求めた。

３．結果と考察

以下では求めた熱拡散率の値から、特異的なものをピックアップし考察していく。まず、各地下水の熱拡散率を図 2 に示す。熱拡散率は 0.2~1.8(cm^2/s)の範囲の値をとっており、概ね

0.3~1.0(cm²/s)の間に値が集中していた。この値は土壌の物性や含水率、空隙率によって決まるものである[2]。サイトの地図に熱拡散率の分布を加えたものが図 3 である。マークの大小で熱拡散率の大きさを表しており、マークの無いところは値を求めることができなかった場所である。この図から分かるように谷部、尾根部といった表面地形によって大きく値が異なるということはなかった。近い場所における地下水では近い値の熱拡散率が求められたが、幾つか特異的な場所が見受けられた。

それ等の中からは特に大きな値を示した G1 の地下水を取り上げて考察していく。

G1 には三深度の地下水が存在し、深い順に深度 30m の M、深度 18m の S、深度 9.8m の T と呼んでいる。この地下水の熱拡散率は M が $1.49^{m^2}/_{s}$、S が $1.80^{m^2}/_{s}$、T が $1.24^{m^2}/_{s}$と全ての深度で大きな値を取っていた。このことから

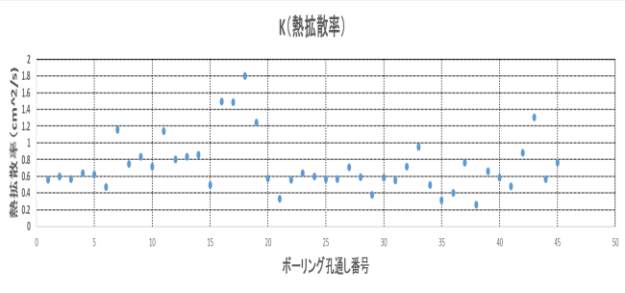

図 2 熱拡散率

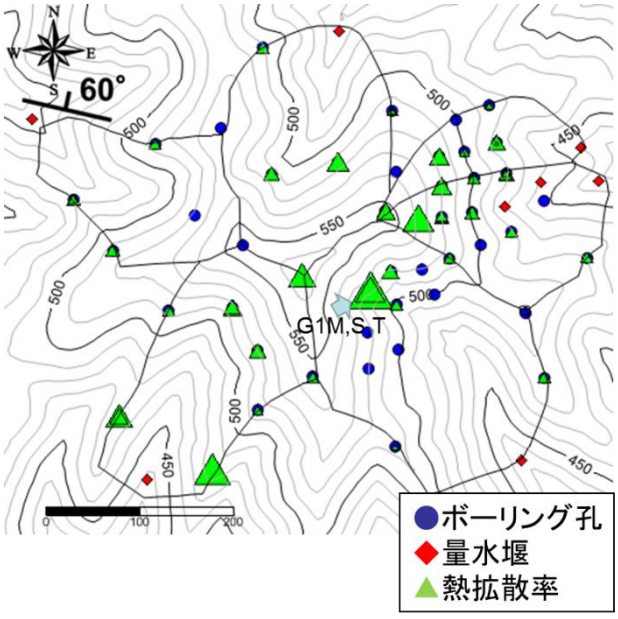

図 3 信楽サイトにおける熱拡散分布図

G1 では深さに比べて地下水水温の年変化が大きく、浅い場所から流れてきている地下水の量が多いと考察される。次に G1 シリーズの地下水位と降水量との対応を確認してみる（図 4）。各ボーリング孔ともに安定して地下水が存在するが、一番浅い T 孔の地下水が降雨に対してほとんど反応しない一方で、深い S 孔、M 孔の地下水が大規模降雨に反応し、地下水位が大きく上昇している。このことからも G1 の深い地下水は降雨の浸透以上に、他の場所からの流入が効いていると考えられる。柱状図やコア写真を確認したところ地下水が流れている深さにそれぞれ亀裂が発達していることが見受けられた。

4.まとめ

今回の熱拡散率の算出より、他の場所からの地下水の流入が多いであろう場所の特定ができた。特に地形による熱拡散率の違いが見られなかったことから、地下水の流入は地上部の地形に左右されるのではなく、地中の亀裂や断層などが強く効いていると考えられる。今後の研究計画としては、柱状図やコア写真などから熱拡散率の値のばらつきが出ることのより深い考察や、より精度の高い水温計によって一つの降雨イベントにおける地下水水温の変化を観測し、降雨時の地下水の流れを観測することなどを考えている。

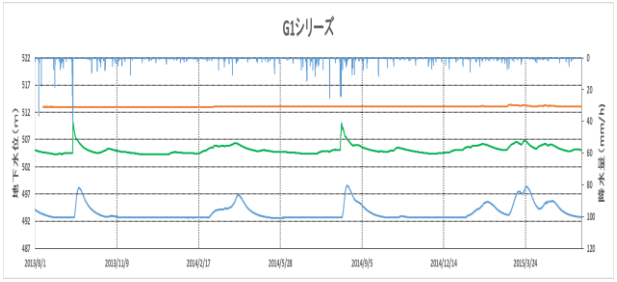

図 4 降水量と G1 シリーズ地下水位

（参考文献）

（1）土壌物理研究会（1980）「土の物理学-土質工学の基礎-」森北出版

(2)ジュリー,ウィリアム・ホートン,ロバート（2006）「土壌物理学-土中の水・熱・ガス・化学物質移動の基礎と応用-」取出伸夫監訳、井上光弘ほか訳、築地書館