

九州大学伊都キャンパス周辺における地下水温の変動特性

九州大学工学部 学生会員 小出俊輔
九州大学大学院工学研究院 正会員 広城吉成

1. はじめに

地下水はその地の年平均気温より 1, 2°C 高く, 近年では地下水温をヒートポンプとして利用した研究が数多くなされている. 研究の多くは深層地下水の水温の特徴を扱ったもので, 浅層地下水の水温変化を検証した研究は少ない. 谷口真人(1987)は, 長岡平野における冬季の消雪用揚水が地下水温に与える変化を, 浅層の特徴的な地下水温変化パターンを 4 つのタイプに分け, 数値解析を行うことで, 浅層の地下水温形成機構を明らかにした. また, Arianna Bucci ら (2017)は, イタリア南西のトリノ地域において, 農村域と都市域での平均地下水温の差は, ヒートアイランド現象により温められた地下水が移流するためであり, 都市域の人工物が地下水温に与える影響を考え, 規則的に季節変化する浅部の地下水温のヒートポンプ利用可能性を提示した. 著者らは九州大学伊都キャンパス周辺の地下水塩水化観測井において, 2016年度から月に1度地下水温の観測を深さ1m毎に行っている. 本報では得られた深度別水温データから九州大学周辺の地下水温の変動特性について検証を行った.

2. 観測

2-1. 観測場所

地下水温観測を行った井戸の位置を図1に示す. 観測井は13ヶ所で深さは17~52mの範囲にある. また, B10-1, B10-2, B7-1は被圧地下水, その他は不圧地下水である. 地質は, 北の4地点(B2, B10-1, B10-2, B7-1)が泥質片岩, 他の9地点が花崗閃緑岩であり, 観測した深度ではいずれも風化が著しい. 基質地盤までは, 沖積層が大部分を占めており, 主に砂質粘土, シルト質砂よりなる. その下に最大で5.6m洪積層が存在し, 主にシルト交じり砂礫よりなる. 基質地盤が出現するのは, 深さ6~18mであり, その深度は西側に行くにつれて浅くなる.

2-2. 使用器具

計測には, 水温電気伝導度計 RT530-E を使用した. 仕様は表1に記す.

2-3. 観測結果

谷口(1987)の手法に従い, 13ヶ所の地下水温鉛直分布を, その季節変化から特徴的な4つのタイプに分類する(図2). Aタイプは恒温層深度が7~10mであり, それより浅層では季節変化による水温の変動が大きい. Bタイプは恒温層深度が5m未満であり, 水温の季節変化が少ない. Cタイプは恒温層深度が10~12mであり, 恒温層深度での水温が他の地点よりも高温になっており, 恒温層以深では水温が低下する. Dタイプは恒温

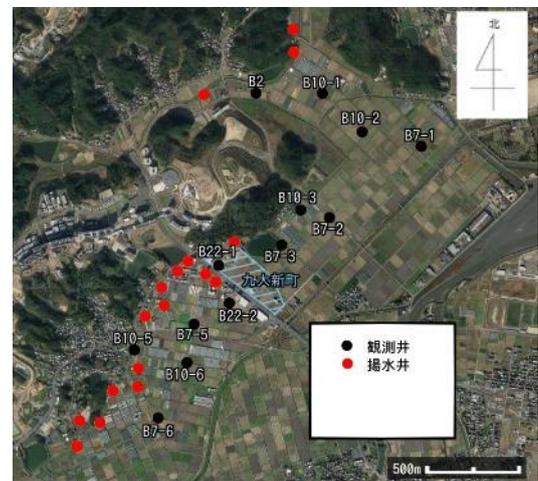


図1 調査地概要.

表1 使用した水温電気伝導度計の仕様
(株式会社東建エンジニアリング製, RT530-E)

	水温	電気伝導度
タイプ	半導体式	交流4極式
レンジ	-5~+50°C	0~10S/m
精度	±0.2%	±2% FS
分解能	0.1°C	10mS/m

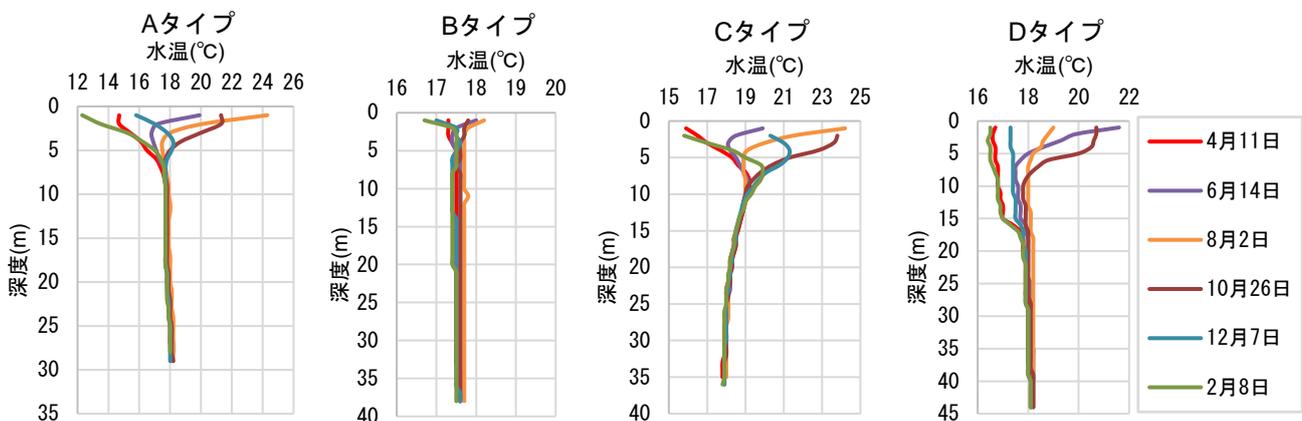


図2 4タイプの代表的な水温鉛直分布(A: B7-1, B: B2, C: B22-1, D: B10-1)

層深度が 18m と深く、水温変化に乱れがある。それぞれのタイプに分けた結果を調査地図にプロットした。Cタイプが存在するのは、近年開発が行われている九大新町付近であり、B22-1 に関しては、建造物付近の駐車場の一角にあるため、コンクリート被覆による地表面温度上昇の影響が大きいと考えられる。

3. 解析と考察

3-1. 解析モデル

今回得られた地下水温を解析するために鉛直一次元熱輸送方程式を用いる。

$$\frac{\partial T}{\partial t} = k \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} - \frac{c_w \rho_w}{c \rho} v_z \frac{\partial T}{\partial z} \dots (1)$$

$$T = T_0 + az \quad z > 0, T = 0 \dots (2)$$

$$T = T_0 + bt \quad z = 0, T > 0 \dots (3)$$

ここで、t は地表の温度上昇開始後の時間、T は温度、T₀ は z=0 における地表面の温度、a は温度勾配、b は地表面温度の増加率、k は温度拡散率、v_z は鉛直方向の地下水速度、c ρ は地層の熱容量、c_w ρ_w は流体の熱容量である。定常状態を考える時、鉛直一次元熱輸送方程式は解析解(4)を得る。

$$T(z,t) = T_0 + T \cdot e^{-\sqrt{\frac{\omega}{2\alpha}} \cdot z} \cdot \sin\left(\omega t - \sqrt{\frac{\omega}{2\alpha}} \cdot z\right) \dots (4)$$

また、初期条件(2)と境界条件(3)のもとで(1)の解は(5)を得る(内田, 1999)

$$T(z,t) = T_0 + az - Uat + \frac{1}{2U} (b + Ua) \left[(Ut - z) \operatorname{erfc}\left(\frac{z - Ut}{2\sqrt{kt}}\right) + (Ut + z) e^{\frac{Uz}{k}} \operatorname{erfc}\left(\frac{z + Ut}{2\sqrt{kt}}\right) \right] \dots (5)$$

ここで、 $U = \frac{v_z c_w \rho_w}{c \rho}$ である。地層の温度拡散率 k は Cartwright(1968)より

沖積堆積物から構成されているので $5 \times 10^{-3} \text{cm}^2/\text{s}$ 、地表面温度増加率 b は、過去の年平均気温推移から $0.033^\circ\text{C}/\text{year}$ とした。

3-2. 解析結果との照合と考察

紙面の都合上、Cタイプの B10-5 についてのみ記す。B10-5 の水温分布を参考に温度勾配 a は $0.023^\circ\text{C}/\text{m}$ 、T₀ は 17.0°C とした。過去から現在までのアメダス気温(飯塚及び前原)推移から、気温上昇が約 40 年前から始まった(t=40)と仮定した。その結果 U=0.1 の時、温度プロファイルは、B10-5 の水温分布と概ね一致した。したがって、B10-5 においては、付近の揚水井による影響で、地下水の動きは鉛直下向きに年 0.1m ほどであることがわかった。

4. まとめ

本報では九州大学伊都キャンパス周辺の地下水温の特徴について考察を行った。谷口(1987)が報告した内容に従って地下水温の解析を行った結果、恒温層深度別に 4 タイプに分類できることが示され、なかでも近年開発が行われた九大新町では土地利用が従来の水田からアスファルトやコンクリート、建物へと変化しており、地表面温度上昇の影響があると考えられた。観測井 B10-5 は周囲に農業用の揚水井があり、観測井の中で最も深度のある井戸について鉛直一次元熱輸送解析を行った結果、揚水による影響があることが示唆された。

参考文献

- 1) 谷口正人：長岡平野における地下水温の形成機構，地理学評論，p.725~738，1987
- 2) Arianna Buccil・Diego Barbero1・Manuela Lasagna1・M. Gabriella Forno1・Domenico Antonio De Luca1：Shallow groundwater temperature in the Turin area (NW Italy): vertical distribution and anthropogenic effects， Environ Earth Sci ， p1~14， 2017
- 3) 内田洋平：地下水流動と地下温度分布の関係，地下水技術第 41 巻第 8 号，p.1~10，1999
- 4) Cartwright. K: Thermal prospecting for ground water， Water Resour Res.,4， p395~401， 1968

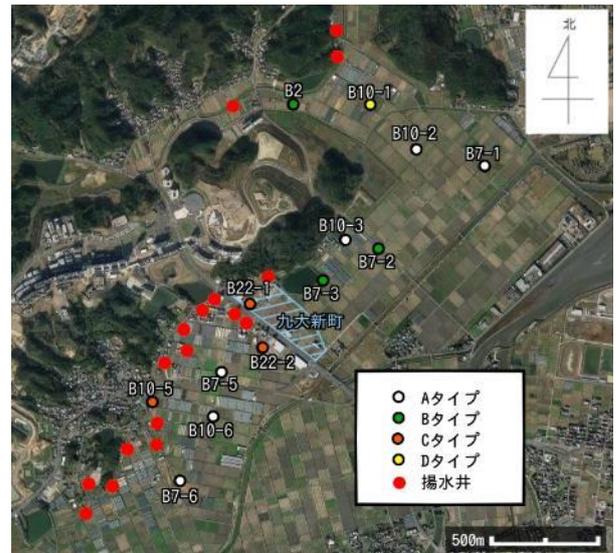


図3 タイプ別観測井の位置

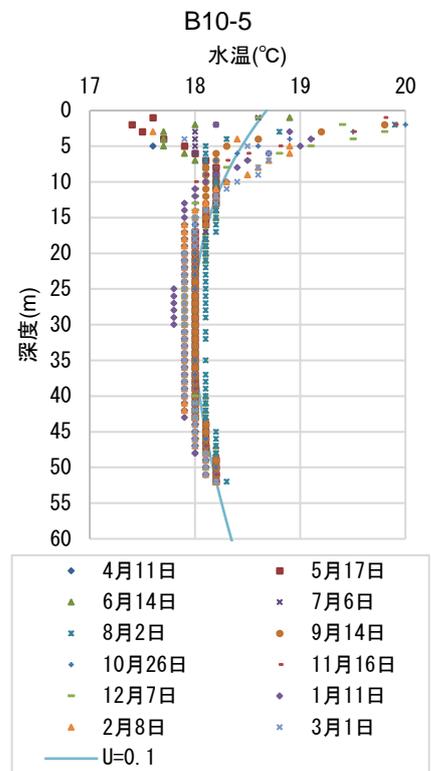


図4 U=0.1(m/year)の温度プロファイルと、B10-5 の水温分布(t=40)