

9. 地下水温測定による地下水流動速度、透水係数の推定

Estimating groundwater flow velocity and hydraulic conductivity by measuring groundwater temperature

○大矢基弘・露口耕治(株式会社四電技術コンサルタント)

栢木 智明 ((同) スイモン L L C)

1. はじめに

地下水の実流速は地下水汚染問題などで重要であるが、現地観測や数値解析で把握することは困難である場合が多い。本研究は比熱の大きい水の性質に着目し、水温をトレーサーとして河川水温・地下水温のピークの遅れから、広域の平均的な実流速等の推定を行ったものである。

2. 調査地の概要

調査地は河川が東から西へ北に湾曲しながら流下する東西 1.8km、南北 0.5km の谷底平野の左岸である。調査地の地盤は下層から洪積砂礫層(Dg)、沖積砂礫層 (Ag)、沖積砂質層 (As) であり (図-1)、左岸川沿いは概ね同様の層序が確認されている。水面は Ag 層の上部に自由地下水面がある。

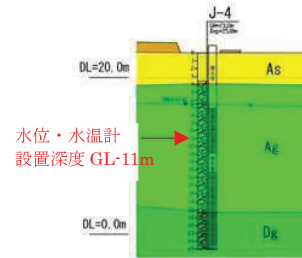


図-1 J-4 断面図

自記水位・水温観測 8 ヲ所、GPS 測量等による河川水位観測 7 ヲ所を行って地下水面等高線図を作成した上で、河川から観測孔までの地下水の流れを図化し (図-2)、地下水流動距離・水面高 (比高) を読み取った (表-1)。

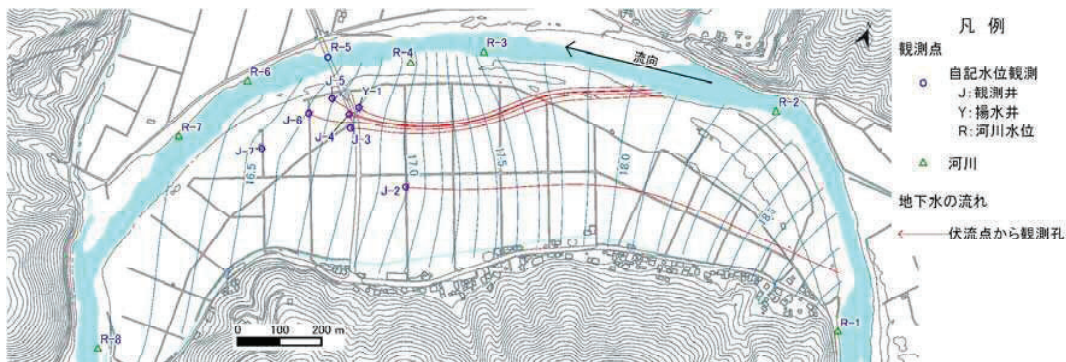


図-2 地下水面等高線図(平水期 9 月)

4. 気温・河川水温・地下水温の変化

気温・水温の時系列データを図-3 に示す。水位・水温計は概ね GL-11m に設置しており、Ag 層 (J-3,4 孔) の水温は概ね均一である¹⁾。冬季の河川水温のピーク (最低) は気温から 9 日間の遅れがあり、夏季は大雨などにより水温が不安定であるが、冬季に準じて気温のピークの 9 日後を河川水温のピーク時期とした。河川水温は最高時期が 8 月中旬・最低時期が 2 月上旬であるのに対し、観測を 1 年実施した J-4 孔は各々 12 月中旬、6 月中旬であり、河川水温から各々 4.0、4.2 ヶ月後がピークとなっている。また、J-4 近傍の Y-1, J-3, 6 は J-4 同様の水温変化、J-4 より川側の J-5 は 1 ヶ月弱早い 11 月下旬、J-4 より山側上流側の J-2 は 1 ヶ月遅い 1 月中旬に最高水温を示した。地下水観測孔の水温のピークは気温から約 4 ヶ月遅れており、河川で伏流した地下水が伏流時の水温を保存して観測孔に到達したものと考えられる。以上から、水温のピーク時期の遅れは伏流地点から観測孔までの地下水流動時間と考えることができる。

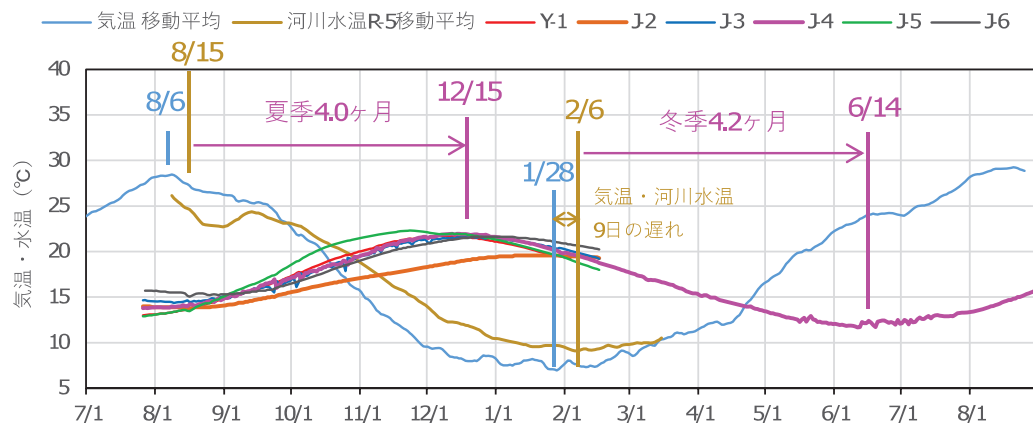


図-3 気温・河川水温・地下水温の変化

5. 水温のピークによる実・ダルシー流速、透水係数の推定

地下水流動距離、水面の比高、地下水流動時間より実流速、さらに有効間隙率を $n_e=0.2$ と設定してダルシー流速・透水係数を推定した（表-1）。

J-4 孔は実流速 $u=7.1 \times 10^{-5} \text{m/s}$ (6m/日)、透水係数 $k=8.4 \times 10^{-3} \text{m/s}$ で他孔も J-5 を除き同様であった。J-5 は $u=1.1 \times 10^{-4} \text{m/s}$ (10m/日)、 $k=1.6 \times 10^{-2} \text{m/s}$ と大きな値を示しており、川

側に立地し水温のピークが早いことから伏流点が図-2 の推定より下流側に位置すると考えられる。

表-1 流速・透水係数推定（夏季）

孔	水面比高 H [m]	流動距離 L [m]	日数 T [日]	実流速 u u=L/T/86400 [m/s]	ダルシー 流速v v=u・n _e [m/s]	動水勾配 i i=H/L [1]	透水係数 k k=v/i [m/s]
Y-1	1.23	704	115	7.1E-05	1.4E-05	1/572	8.1E-03
J-2	1.88	1077	156	8.0E-05	1.6E-05	1/573	9.2E-03
J-3	1.30	773	127	7.0E-05	1.4E-05	1/595	8.4E-03
J-4	1.26	745	122	7.1E-05	1.4E-05	1/591	8.4E-03
J-5	1.35	965	100	1.1E-04	2.2E-05	1/715	1.6E-02
J-6	1.45	859	137	7.3E-05	1.5E-05	1/592	8.6E-03
有効間隙率n _e		0.2	平均透水係数（除J-5）				8.5E-03

6. まとめ

本研究と既報¹⁾の透水係数を表-2 に整理した。

多点温度検層や揚水試験の 10^{-2}m/s オーダーの透水係数と比較して本研究はやや小さい値を示した。これは本研究の対象領域が既報より広く、その平均的な値を推定したためと考えられる。

表-2 透水係数の比較

試験・地点	対象区間	透水係数 (m/s)	平均透水 係数(m/s)	試験条件等
水温ピーク	帯水層全体	—	8.50E-03	除J-5
多温・J-4	GL-7.5~23.5m	3.12E-02	3.16E-02	D=50mm, $i=1/770$
多温・J-3	GL-7.6~21.1m	3.20E-02		D=100mm, $i=1/845$
単孔 ・ J-4	GL-15.0~15.3m	5.66E-04	1.89E-03	定常法（注水）
	GL-18.0~18.2m	1.21E-03		
	GL-21.0~21.3m	3.90E-03		
	GL-24.0~25.0m	4.78E-07	—	非定常法（注水）
揚水・Y-1	GL-7.0~24.4m	1.75E-02	1.92E-02	Q=4.1m ³ /分
揚水・Y-2	GL-7.3~22.1m	2.09E-02		Q=3.2m ³ /分

揚水試験：定常法（ $s\text{-log}_{10}r$ プロットによる直線勾配法）

現在、水温も同時に測定できる自記水位計が普及しているが、水温測定値が十分活用されていない。本研究で示した手法は、広域の平均的な実流速等を推定でき、地下水汚染問題の検討や地下水流動モデルの作成に活用できると思われる。

引用文献

- 1) 大矢基弘・露口耕治・栢木智明(2020). 多点温度検層の透水係数推定への応用の可能性, 日本応用地質学会中国四国支部令和2年度研究発表会