水温による熊本平野の地下水流動の推定

熊本大学　正　員　　下津昌司
熊本大学　学生員　○石井真一
熊本大学　　　　　　矢北孝一

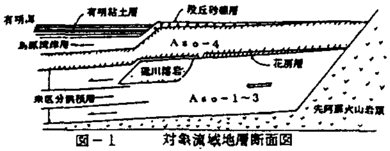
1．はじめに

地下水温は物理量の中でも比較的容易に、しかも精度よく測定できる量であり、したがって地下水温を用いた地下水解析は、比較的古くから、行なわれて来ているが、最近わが国でも佐倉、谷口による定常一次元のタイプカーブを用いて地下水温鉛直分布から地下水流動量を推定する解析法の例がある。

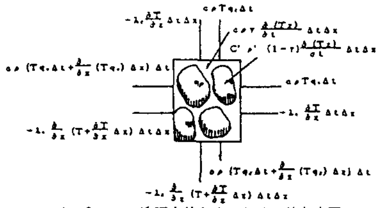
本研究では、Domenico and Palciauskas（１９７３）によって求められた定常二次元の解析解を用いてその一般性を把握した上でさらに非定常モデルによる現象の再現性の可否を検討し、そこで得られた知見により対象モデル地域である熊本平野における地下水の流動機構の一部を明らかにしようとするものである。

2．対象地域の概要

本研究の対象地域は、阿蘇火山西麓台地から沖積低平地にかけての白川、緑川流域の一部である。図－１に対象地域の地層断面図を示す。対象地域は、江津湖より東側の洪積台地と西側の沖積低平地に大きく分けることができ、洪積台地側を涵養域、沖積低平地側を流出域、その間を流動としている。洪積台地には、阿蘇火砕流堆積物が堆積し、この地域の地層を形成している。沖積低平地には、島原湾岸層と呼ばれる洪積層を覆って有明粘土層が厚く分布しており沖積低平地の地層を形成している。



図－１　対象流域地層断面図


図－２　地下水飽和帯における熱収支図

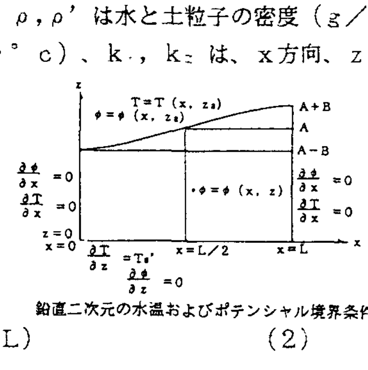
3．解析方法について

解析に用いた基礎式には、一般にＤａｒｃｙ流を仮定した地下水流動による水と熱との非定常熱輸送式である。図－２に熱収支の概念図を示す。これにより熱収支式は

$$\{c\rho\gamma + c'\rho'(1-\gamma)\}\frac{\partial T}{\partial t} = \lambda\left[\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}\right] - c\rho\left[-k_x\frac{\partial\phi\,\partial T}{\partial x\,\partial x} - k_z\frac{\partial\phi}{\partial z}\cdot k_z\frac{\partial T}{\partial z}\right] \quad (1)$$

となる。ここで c, c' は水と土粒子の比熱（cal／g・°c）、ρ, ρ' は水と土粒子の密度（g／m^3）、γ は、間隙率（%）、λ は温度伝導率（cal／m・day・°c）、k_x，k_z は、x方向、z方向の透水係数、ϕ は地下水ポテンシャルを表す。

まず、（1）式を用いて定常二次元の解析を行なうことにする。図－３は、解析に用いる鉛直二次元断面のポテンシャル・温度境界面の条件を示したダイアグラムである。井戸の基準面からの高さを z_0 とすると地下水ポテンシャルは



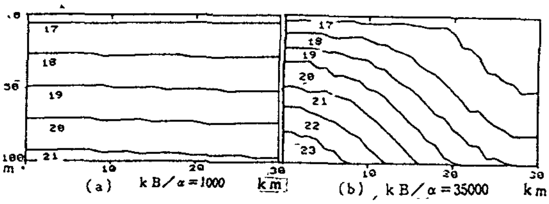
図－３　鉛直二次元の水温およびポテンシャル境界条件

$$\phi(x, z) = A - \left[\frac{B\cosh(\pi z/L)}{\cos(\pi z_0/L)}\right]\cos(\pi z/L) \quad (2)$$

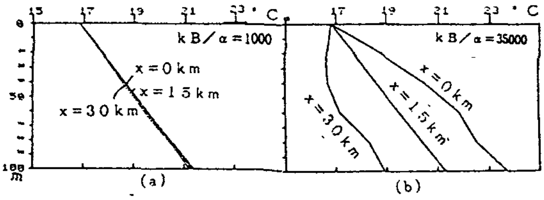
ここで Aは年平均地下水位（m）、Bは年平均地下水変動幅（m）、Lは水平方向の流域長（m）を表す。（1）式を定常化し、（2）式を適応すると解析解は

$$T(x, z) = T1 + T_0'(z - z_0) - (T_0' kB / 2\alpha) \left[\frac{\cos(\pi x/L)}{\cosh(\pi z_0/L)} \right] \cdot \left[(z - z_0)\cosh(\pi z/L) + \{ L\sinh(\pi(z - z_0)/L) / \pi\cosh(\pi z_0/L) \} \right] \quad (3)$$

を得る。T1は上部境界条件としての平均温度、T_0' は下部条件としての地中温度勾配、αは温度拡散率（m^2/day）である。（3）式を用いて解析を行なった結果の一例を図－4（a）（b）、図－5（a）（b）に示す。図－4は、鉛直二次元断面の地下水温等値線を、図－5は地下水温鉛直プロファイルを表している。解析には、T1を熊本平野における年平均温度の16.5°C、T_0' を−0.03, Lを沖積低平地の末端から高遊原台地までの30kmを用い、パラメーターとしてkB／αを変化させて温度分布の変化を調べることにした。図－4を見るとパラメーターが大きくなれば流出域では等温線が込んで、涵養域で逆に等温線が疎になってくることが分かる。また、図－5を見るとパラメーターが大きくなれば涵養域で鉛直方向の温度勾配が小さくなり、流出域で大きくなることが分かる。これは、涵養域で鉛直方向の水温分布があまり変化しないことや、流出域でその逆が生じているという実際の水温分布状態をうまく表している。



図－4　　鉛直二次元断面の地下水温等温線図
図中の数字は、温度（°C）を表す。



図－5　　鉛直方向の地下水温分布図

そこで、さらに（3）式を用いて初期条件とし、非定常の熱輸送方程式（1）を解析するために差分化を行なった。解析に用いた差分式は

$$T_{i,j,k+1} = (1 - 2C - 2D + E + F) T_{i,j,k} + (C - E) T_{i+1,j,k} + (D - F) T_{i,j+1,k} + C T_{i-1,j,k} + D T_{i,j-1,k} \quad (4)$$

ここでiはx方向のステップ、jはz方向のステップ、kは時間ステップ、A={cργ+c'ρ'(1−γ)}とすると、$C = \Delta t \lambda / A \Delta x^2$, $D = \Delta t \lambda / A \Delta z^2$, $E = \Delta t v_x / A \Delta x$, $F = \Delta t v_z / A \Delta z$ となる。
結果およびその詳細は、発表時に示すことにする。

（参考文献）

1）谷口真人、島野安雄、榧根　勇：地下水温を用いた阿蘇西麓台地の地下水流動解析、ハイドロジー第19巻、第3号、１９８９　2）谷　誠：湧水温の形成について、水温の研究第２１巻、第３号