

# 水 井 戸 の 話

⑱

## 水 の 流 れ

村 下 敏 夫

雨水は 一部が地表を流れ 一部が地中に浸透し 一部が蒸発して ふたたび天水となる。地中に浸透した水は 大部分が地下水となり 上流から下流へ あるいは水頭の高い方から低い方へ向って流動する。われわれが利用する地下水は 上記のような循環系統にある水である。地表を流れる水の速さは おおよその値については目測できるし 正確な値については流速計で測定することもできる。しかし 地下水の流速は 地表水のように簡単には測定できない。それだけに この流速については 興味があり 一般の関心があるもの一つにもなっている。

野外で地下水の流速を測定するには まず最初に流れの方向を知っておかなければならない。水は高い所から低い所へ向って流れるから それを見つけ出さなければならない。

そのためには 地下水位の等高線を作る。地下水の水位は 井戸があればそれを利用して測量すればよいが 井戸がなければ孔を掘って地下水位を測量する。測量してえられた地下水の高さを等高線として作図したものたとえば 図1のようなものが地下水面等高線図である。地下水の流れの方向は 等高線に直角の方向であるから 図にある矢印の方向が流れの方向になる。

図1は 河川沿岸における地下水面等高線図である。左岸側に示されている等高線の形は 河川水が地下水になっていることを示している。右岸側の形は 上流では河川水が地下水になり 中流では河川水とは無関係に

流れ 下流では地下水が河川へ向って流入していることを暗示している。

河川沿岸の地下水位は 降水や田用水の多い夏季とそれらが少ない冬季とでは かなり大きく変動する。また河川水位も夏と冬とでは変動する。そこで地下水面等高線図を作ってみると 夏季には地下水が河川に向って流入し 冬には河川水が沿岸に流出して地下水になっていること あるいはその逆になっていることなどを知ることができる。なお 地下水面等高線は 地下水流動の方向を暗示するだけではなく

- ・地下水の源
  - ・帯水層の透水性
- をも暗示している。

地下水の源は 流れの方向を逆にたどっていけば図1のように河川水であることがわかる。また等高線の間隔がせばまっている所は 帯水層の透水性がわるく 間隔が開いている所は透水性がよい ということもわかる。

さて地下水の流速は 原則としてダルシー(Darcy)の法則にしたがっている と考えられている。流速を  $v$  透水係数を  $k$  動水勾配を  $i$  とすると 次のような関係がある。

$$v = ki$$

透水係数は帯水層特有の値であるから 流速は動水勾配に比例する。動水勾配は さきほどの地下水面等高線図から求めることができる。さらに地下水の流動量 ( $Q$ ) は 帯水層の断面積を  $A$  とすれば  $Q = Av$  の式で計算できる。

等高線の間隔によって帯水層の透水性を知ることができるというのは 流動量と断面積とが一定であれば 動水勾配が大きいほど透水係数が小さくなるからである。水井戸の地点を選定する目的での地下水調査で 河川水が地下水を養っているという等高線の形がえられたので 井戸を掘ったところ 予測通りの水量がえられなかったという実例がある。これは 動水勾配と透水性との関係についての検討が十分でなかったことに原因があるように見うけられる。また水井戸の位置を決定するときには 等高線の形が谷状をなしている所を選ぶことが教科書にのっている。地下水の流れの方向は 等高線に直角の方向であるから 谷状をなしている所は地下水が集りやすくなっている所である。しかし 自然界には例外はつきもので 塚田正さんの体験によると そこはむしろ湧水量がわるい所であることもしばしばあるという。

実際に野外で流速を測定する方法は 地下水面等高線

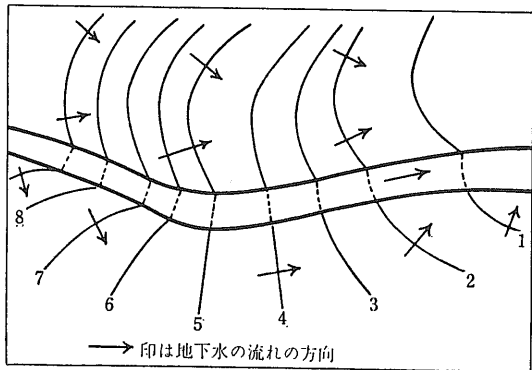


図1 河川沿岸における表流水と地下水との関係を示す模式

図に基づいてもっとも有効な地点に井戸を掘ってトレーサーを入れ、それが下流に配置された観測井に到達する時間を測定する方法である。トレーサーとして使用される薬品の種類はいろいろ考えられているが、通常使用されているのは食塩、フローレセンソーダ、塩化アンモン、トリチウムである。これらは検出が容易であり、帯水層を構成する砂礫の表面に附着したり粘土粒子などと接触しても化学変化を起こしにくいので、すぐれたトレーサーのようである。

地下水の流速は、被圧状態の地下水よりも自由面状態の地下水の方が大きい。そして河川沿岸や扇状地の地下水——すなわち帯水層の透水性がよくかつ動水勾配が大きいところの地下水ほど流速が大きい。したがってこのような状態の地下水は、流速測定に好都合である。扇状地における河川沿岸での速度は、動水勾配 1/100～1/200 で、1時間あたり10m程度、河床下の伏流水は30m～50mにもなっている。

さて、このような値をそのまま地下水の速度とみなしてよいかという点については、いろいろ疑問がある。まず第1の疑問は、トレーサーが地下水と一しよに動きうるであろうかということである。川に投入して観察すると、流れの方向に進むものと下方に沈降しようとするものとの二つの動きがあることがわかる。地下水の流速測定に、食塩やフローレセンソーダを使用した経験でも、最初の到達から次に濃度が最高となり、そして薄れていくまでの時間が相当に長いことがある。第2の疑問は、トレーサーの種類によって流れる深さが違うのではないかという点である。食塩水は水よりも比重が大きいので、下方へ沈みがちであるし、フローレセンソーダのような染料は水の上の方を流れやすい。したがって前記のトレーサーが示す流速は、帯水層の下部あるいは上部の方の値をよく示しているのではないかも考えられる。第3の疑問は、トレーサーの量と観測距離とについてである。トレーサーは地下水の流れとともに稀釈されるので、少量であっても自然状態で存在するその地下水特有の塩分量あるいは色度と区別することができにくくなる。またトレーサーの量が多くても観測距離が長くても同じように検出しにくくなる。観測距離が短くて多量に投入すると、投入した井戸と観測井との間の動水勾配が大きく変つて、自然状態の流速が乱されるかも知れない。

このように実流速を測定する場合には、いくつかの問題点がある。

トレーサーを使用して検出した濃度が最高となる時間をもつて計算した地下水の速度と揚水試験によつて求めた帯水層の透水係数と動水勾配をダルシーの式に代入し

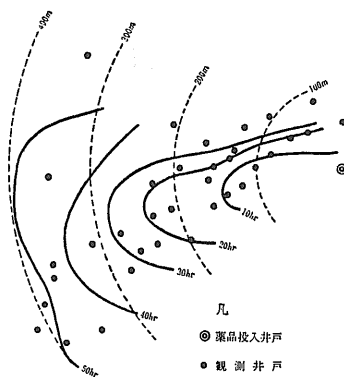


図2  
扇状地における実例  
(トレーサーはフローレセンソーダ、動水勾配は200分の1、早川直志による)

て計算した速度とを比較すると、前者の方が大きい場合が多い。またトレーサー使用によつて追跡される地下水の流動方向が、地下水面等高線を作つて推定した流動方向とは異なることもしばしばある。この理由としては、帯水層が均質均一ではなく、透水性も局部的に変化しているため、地下水は透水性のよい部分——「水みち」ともいふべき箇所をぬつて流れているのではないかと考えられる。最近1cm、毎秒程度までの流速が測定できる計器が製作されている。これを使用して、自然状態での流速や揚水状態における帯水層中の地下水流速を測定すると、見掛け上均質な帯水層であっても透水性にはかなりの変化があることが観察できる。

したがって、ダルシーの法則に基づいて計算される流速は、帯水層全体の平均値であると考えられる。

以上に説明したのは、自由水面を有する地下水についてである。被圧状態にある地下水の流速についてはほとんど知られていない。水質の変動などから推定して、流速が1日あたり2～3cm程度の地下水が存在することは知られている。ただ考えられることは、自由水面の場合と同様に被圧地下水の最上流部では速度が大きい、下流に向つて次第に小さくなっていくということである。そして深い地下水は、汲み上げて動水勾配をつくつてやらなければ動かないかも知れない。

なお、ここで補足しておきたいのは、地下水の汚染ということである。人工的に発生する汚染は、第5話で説明したように下流側に及んでいくものである。その過程は、トレーサーの場合と変りない。今年になつて問題になった昭島市の油による水井戸汚染の場合でも、地下水面の等高線から推定すれば、油が流れてきた方向は横田飛行場の方である。公害問題がやかましくなつてくると、地下に汚物や廃水を投棄することが行なわれるであろう。そこに生活があるがぎり・われわれはそのような行為を許してはならない。(筆者は応用地質部)