

山形盆地の地下水流動

—都市化の影響を判定するための水温調査—

丸井敦尚¹⁾

1. はじめに

山形市は、山形盆地の南半分を占める人口約25万人の東北地方で7番目に大きな都市(日本海側では秋田市に続き第2位)である。最上川の支流である馬見ヶ崎川の扇状地上に発達した城下町であり、市街地は扇頂部から扇端部まで西方に緩く傾斜しながら続いている。扇端部の西側には主に湖沼堆積物で構成される盆地低地部が広がっており、東北地方有数の稲作地帯となっている。盆地の南東側には蔵王山を臨むことができ、風光明媚であると同時に、温泉や冬季の豪雪でも名高い。

さて、地下水流動を検討する際に、1970年代までの水文学では水質や水温を中心とする調査データをもとに議論がなされてきた。1980年代に入るとコンピュータの発達に伴って地下水流動シミュレーションが盛んに行われるようになり、1990年代には水素・酸素など様々な元素の同位体組成の測定から地下水の涵養域・流動経路・滞留時間など詳細な研究が行われるようになってきた。しかし、最先端ともいえる同位体の分析には多額の費用や設備を必要とするなど、調査内容が高度化するにつれ地下水の研究や地下水の存在自体が次第に地域に暮らす人々から縁遠いものになろうとしている。

一方、地下水そのものも都市化・近代化の影響を受けている。表層のコンクリート被覆面積が拡大したり河川の改修工事が進むことで地下水の涵養量が減少する、人口密集地や大規模工場の周辺で局地的に地下水の使用量が大きくなるなどが原因となり、地盤沈下をはじめとする様々な地下水障害を引き起こしている。地域の環境を健全に守るためにも、普段は目のとどかない地下の情報を日頃から監視しておく必要がある。

地質調査所が実施している生活環境関連研究の中で、水文地質要素の研究項目においては、地域に生活する人々が自分の身近なところで得られたデータを水文学の最先端研究と結びつけるために、また地域の地下水についての理解を深めるために、地域密着型の研究を推進してゆくマニュアル作りを目指している。山形市の場合、幸いなことに冬季に大量の降雪があることから、これまでも水温をキーとした研究が盛んに行われてきている。本報では、この誰もが測定可能な水温を用いて、誰にでも地下水の動向を把握できるような、社会に根付いた水文環境図を作成するための指針を示したい。

2. 水温を要素とした従来の研究

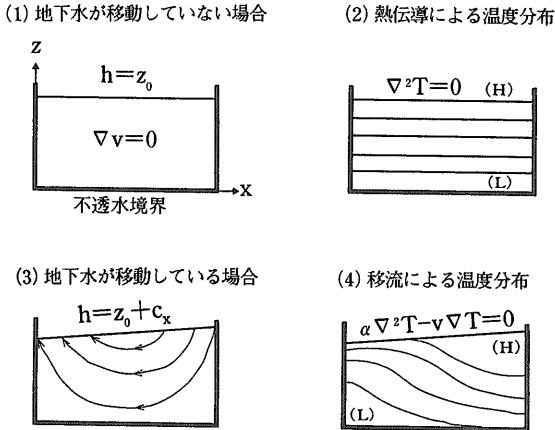
地中の地下水温を厳密に測定することは不可能に近いが、従来より井戸の中に溜まった水の温度が地下水温に等しいとして数々の研究が行われてきた。それは、通常の観測井程度の口径(8cm以下)であれば井戸の内部で対流が起こりづらく、井戸内水温が周囲の地温や地下水温と平衡状態にあると仮定できること、さらに測定が容易なことなどが要因として挙げられる。

地下の温度場の形成には、熱の伝導と移流が関与する。地下水が移動しない場合には地下の熱輸送は熱伝導のみに限られるが、通常地下水が流動している状況では移流の効果が卓越する。第1図に示すような地下水流動に伴う地下水の温度場の歪みから地下水の流動方向や流動量、あるいは地下地質を推定することができる。

一般的に地下水の流動に伴って水温は連続的に変化するが、山形市の場合には、流動系の途中に

1) 地質調査所 環境地質部

キーワード: 地下水流動, 都市化, 豪雪地帯, 地下水温



第1図 地下水の流動と温度分布の関係(佐倉, 1993 より).

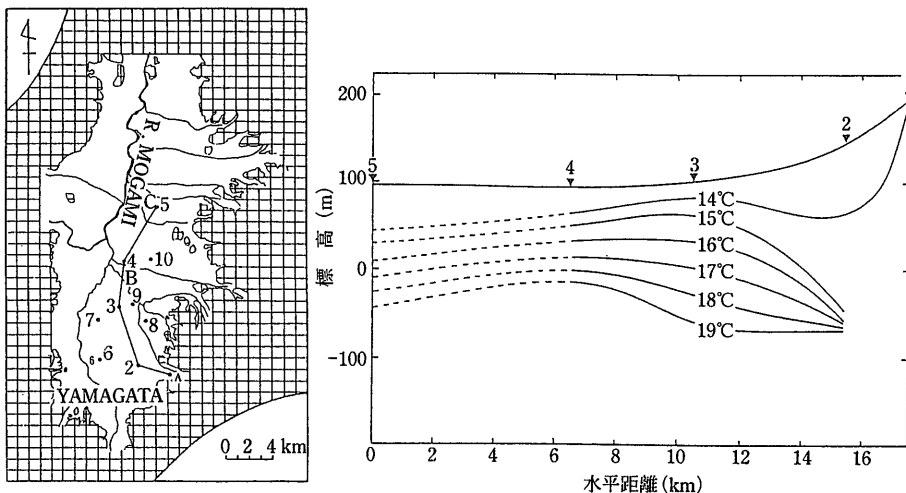
- (1) 地下水が全く流動していない状況
- (2) 地下水が流動しない時の温度分布
- (3) 地下水が矢印に沿って流れている状況
- (4) 地下水の流れによって引き起こされる温度分布

都市域などが存在し地下水の涵養域に不連続性が生じたり、また冬季には地下水を利用して融雪させ地下水温に時間的な不連続性が生ずるなど場の状況以外にも地下水温の分布に歪みを生じさせる要素が多々存在する。水温観測だけで地域の地下水流動を完全に把握することはできないとしても、こ

れまでの数々の研究成果をふまえた上で、水温を連続観測し地下水の流動状況が判定できれば今後のモニタリングには十分に有効な手段として活用できると考える。

山形市やその周辺を対象とした水温の研究には、内田ほか(1993)や佐倉(1993)がある。内田ほか(1993)は、山形盆地を縦断する観測線を設けて季節ごとの地下水温を測定することにより、地下水が上流部の扇状地から涵養され盆地の中央部で流出していくことを示している(第2図)。また同様の手法を用いて米沢盆地の地下水流動を調査した佐倉(1993)によれば、地下水温の測定が地下水流動の定量的な評価に十分に耐えられる情報を与えてくれることを表している。筆者は、冬季の降雪によって冷却された地下水が移動してゆく様子を捉えて山形盆地の地下水流動を明らかにしようと考えている。

ところで、山形市の地下水温の研究を行う際に考慮しなければならない特徴的な事項がある。それは無散水消雪と呼ばれる融雪処理システムであり、冬季の過剰な地下水汲み上げによる地下水面の急激な下降や地盤沈下を避けるために考案された。無散水消雪では地下水を路面直下のパイプ内を循環させ、地下水の熱を使って消雪している。この方法では熱だけを消費し冷却された水が再度地



第2図 山形市における地下水温観測の例(内田ほか, 1993より)。

- (左) 山形盆地内に設けた観測線の位置図
- (右) 地下水温分布の様子(1993年4月の例)

先に示したような、地下水流動に伴う温度分布が観測された。

中に注入されるため、局所的に低温地下水帯が発生する。この無散水消雪の利用に伴う地下水温度変化を観測した東浦ほか(1991)によれば、低温水による地下水温度の低下は0.5℃以上にもなると報告されている。さらに、この低温地下水は完全な熱交換に1ヵ月以上を要する(帯水層内で1ヵ月以上温度差が維持されている)こと、また上下層への拡散が少ないことなどが報告されている。最終的なモデルの作成時には十分に考慮しなくてはならない要素の一つと考えられる。

近年の地下水(地)温をトレーサーとした研究には、Deming et al. (1992)のような地殻構造までを考慮した大規模地下水流動に関する研究もある。アラスカで行われたこの研究は、水平方向に300km以上、深度5,000m以上の範囲を対象に、深度1,300m~4,300mの観測井を24本使って深部の流体移動を算出している。この研究においても浅層部の地下水流動に関しては、山形盆地における筆者の研究と同様に浅層地下水の水温調査を実施しており、深部の流体移動シミュレーションの精度を高めるためにも浅層部の調査は重要な位置を占めている。山形盆地には温泉地帯が存在しており、研究の発展性を考えると浅層部の地下水流動調査を高精度に行う必要があると考える。

3. これまでの経緯と今後の展開

筆者はこれまでに山形市内の井戸1,200本についてのデータベースを作成している。全てが水温に関する情報を有してはいるわけではないが、従来の研究と比して収集データ量は飛躍的に大きくなった。井戸掘削時の地質資料はほぼ完全に収集できているため、帯水層に関する構造などの評価は従来の

研究に比べ高精度に行うことができた。すなわち、山形市街地の馬見ヶ崎川扇状地では帯水層が最大で深度100mまで一層しか存在していないが、湖沼底堆積物で構成される山形盆地の低地部は大きく3ブロックに別れてそれぞれ2~4層の帯水層が確認されている。また、天童市との境界付近の深度270m以深では高温水異常域も観測されており、今後の調査への期待が高まっている。

さらに、山形市の管理する観測井など市内8ヵ所10井に水温の連続観測施設を設けた(山形市が水位を観測していない場合には水位計も設置している)。2年間の予定で連続観測を継続中であり、平行して地下水と地表水の採水・分析も実施している。最終的には、水温観測以外の要素を含め地域の地下水流動モデルを作成することになるだろうが、モデルが一度完成すれば、水温をキーとして誰にでも簡便に地域の地下水流動の状況が分かるような地域生活に密着した情報を提供してゆきたい。

参考文献

- 内田洋平・佐倉保夫・荒川隆嗣(1993): 山形盆地の地下の温度分布から推定される地下水流動。ハイドロロジー, 23(4), 169-179
- 佐倉保夫(1993): 温度をトレーサーとした地下水流動の研究。ハイドロロジー, 23(2), 35-45
- 東浦将夫・佐藤威・木村忠志・横山孝男・丹野清輝(1991): 地下水の熱移動機構の解明に関する研究—野外における地下水の熱移動計測—。ハイドロロジー, 21(1), 19-26
- Deming, D., Sass, J. H., Lachenbruch, A. H. and Rito, R. F. (1992): Heat flow and surface temperature as evidence for basin-scale ground-water flow, North Slope of Alaska. Geo. Soc. of America Bull., 104, 528-542

MARUI Atsunao (1997): Groundwater flow of Yamagata Basin — Study on groundwater temperature to evaluate for the impact of urbanization —.

<受付: 1997年6月2日>