

# 地下水温の鉛直分布とその変化

## —地下水流動へのアプローチ—

関 谷 一 義\*

### 1. はじめに

地下水汚染は環境行政における最重要課題の一つである。地表から浸透した汚染物質は、土壤中を降下し、地下水面に達すると一部は溶解し、地下水とともに移動する。従って、汚染原因の究明、汚染源及び汚染経路の特定、汚染拡大の予測などを解明するためには地下水の流動状況を把握することが不可欠である。

地下水の流動状況は、既存の井戸の地下水位を測定し、地下水位等高線を描くことによって明らかにされる。ところが、最初に汚染される不圧地下水を利用している井戸は打ち込み井戸が多く、地下水位を測定することはほとんど不可能である。そこで、本研究は不圧地下水の流動状況を解析する手段の一つとしての地下水温の活用法を検討したものである。

一般的に、地温は地表面下（以下「GL-」という。）0.5mで日変化がなくなり、10m付近で年変化がなくなる。年変化がなくなる深度を恒温層と呼ぶ。恒温層の深度は我が国では10～20mと言われており、その温度はそれぞれの地域の年平均気温より1～2℃高い<sup>1)</sup>。

恒温層以深では地温は年変化がなく深度を増すごとに上昇する。地温の上昇率は、地温勾配または地下増温率と呼ばれ、一般的には0.03℃/mである。

地下水は、流動速度が小さいため周辺の地層と熱的に平衡状態にあり、その温度は地温を反映する。しかし、地下水の流動が著しい場合には、必ずしも熱的平衡に達しているとは限らず、地下水温の変化から地下水の流動状況を解析した研究例もある<sup>2,3)</sup>。

本稿で報告する成果は、深度ごとに地下水温を測定し、地下水温の鉛直分布及びその変化を明らかにしたものであり、地表からの浸透水の影響を受けたときの地下水温鉛直分布に関する新たな知見を得たものである。

### 2. 方 法

調査は、新潟、六日町、高田市街地北部（以下「高田北部」という。）及び高田市街地南部（以下「高田南部」という。）の4地区の地盤沈下観測井及び地下水位観測井において実施した。地下水温鉛直分布の測定は2001年6月から2002年6月まで毎月1回実施した。

調査地点の一覧を表1に、その位置を図1に、観測井の構造を図2に示した。

表1 調査地点一覧

地区名	観測井名称	所在地
新 潟	米山公園	新潟市米山
六日町	河原崎	六日町六日町
高田市街地 北 部	北城児童公園	上越市北城町
高田市街地 南 部	公民館 10m 公民館 52m	上越市大手町 ◇

\*新潟県保健環境科学研究所

観測井は単管構造であり、ケーシングは鋼管製または塩ビ管製である。スクリーンは、井戸の最下部あるいは中間に一カ所だけ設けられている。スクリーン以外のケーシングは盲となっており、スクリーンの部分以外では地下水の出入りがない。

水温の測定には、アルファ光学(株)製サーミスター温度計RT-1型及びWLT型を用いた。RT-1型及びWLT型ともに分解能は0.1℃、精度は±

0.2℃である。現地測定を行う前に、標準温度計及び恒温水槽を用いてサーミスター温度計の校正曲線を求め、現地の測定値は校正曲線により補正した。

RT-1型及びWLT型温度計の形態は、長さ100mの目盛り付きケーブルの先端に温度及

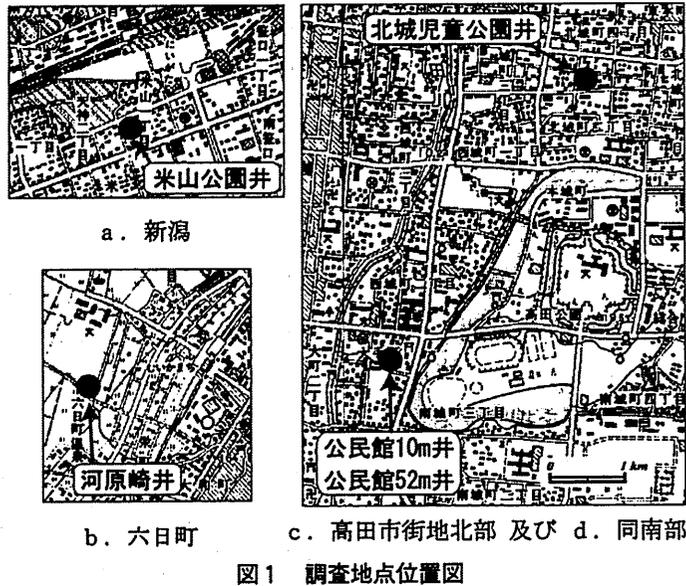


図1 調査地点位置図

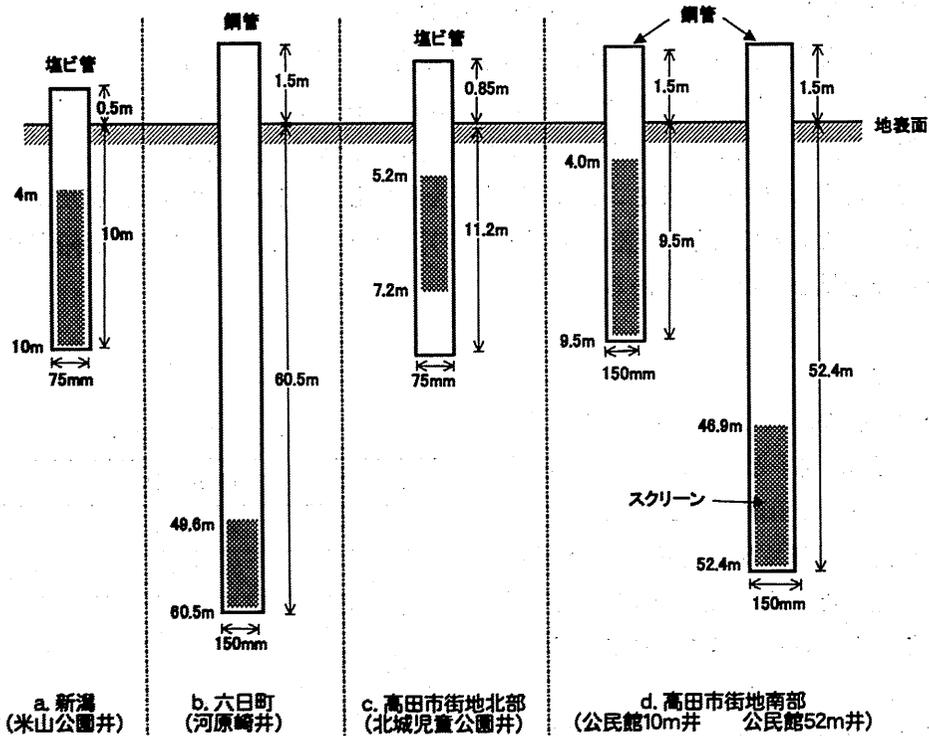


図2 地下水温の鉛直分布を測定した観測井の構造図

び水位センサーが取り付けられたものである（写真1）。

水温の測定は、原則として新潟及び高田北部では1m間隔で、六日町ではGL-30m以浅は1m間隔で、それ以深は5m間隔で、高田南部ではGL-35m以浅は1m間隔で、それ以深は5m間隔で実施した。

現地においては、観測井管頭から管内の水を乱さないように静かにセンサーを挿入し、地下水面から井戸管底に向かって水温を測定した。観測値の読み取りは、センサーが目的深度に到達してから水温が安定するまでの時間（約4分間）を経過した後に行った。

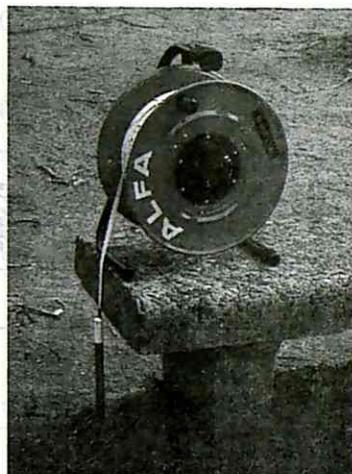


写真1 WLT型温度計

### 3. 結果

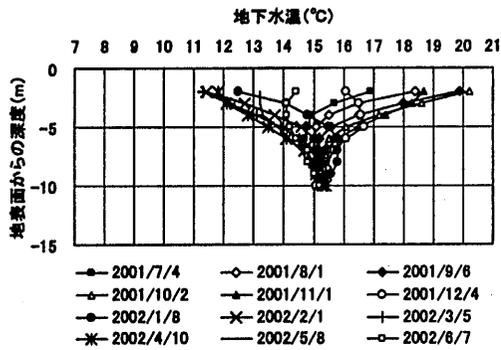
地下水温度鉛直分布の観測結果を図3に示した。図の横軸は温度、縦軸は地表面からの深度である。グラフは、各月の深度ごとの観測値を実線で結んで図示した。新潟は2001年7月～2002年6月までの12ヶ月、六日町及び高田南部は2001年6月～2002年5月までの12ヶ月、高田北部は2001年9月が欠測のため2001年7月～2002年6月までの11ヶ月の地下水温度鉛直分布を示した。

新潟及び高田北部については、10m付近で地下水温度の年変化がなくなり、恒温層が確認された。恒温層の深度は、新潟が約10m、高田北部は約11mであった。また、恒温層の温度は、新潟が15.2℃、高田北部は13.0℃であった。年平均気温は、新潟が14.0℃、高田北部は13.3℃であり、恒温層の温度と年平均気温を比較すると、新潟は恒温層の温度が年平均気温より1.2℃高く、高田北部は恒温層の温度が年平均気温より0.3℃低かった。

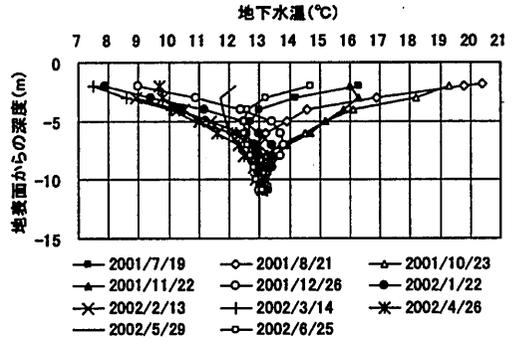
恒温層以浅では、両地区とも地下水温度は年変化を示した。新潟において地表に最も近い深度であるGL-2mでは最高が20.2℃（2001/10/2）、最低が11.3℃（2002/3/2）、温度差が8.9℃であり、高田北部において地表に最も近い深度であるGL-2mでは最高が19.8℃（2001/8/21）、最低が7.5℃（2002/3/14）、温度差が12.3℃であった。

六日町については、グラフが15m付近で一旦収束し、15m付近では地下水温度の年変化がないことが明らかになったが、15～50mにおいては年変化が観測された。しかし、スクリーン付近（50～60m）の水温は年間を通じて変化がなく、14.7℃であった。地表に最も近い深度であるGL-3mでの年変化は、最高が17.9℃（2001/9/11及び10/11）、最低が10.4℃（2002/4/18）、温度差が7.5℃であった。

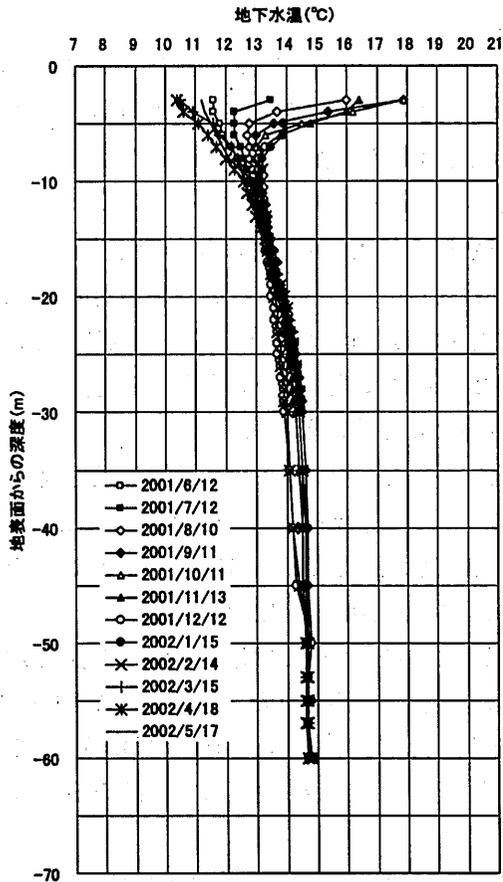
高田南部では、10m井と52m井の二井で観測を行ったが、両井の結果は図3dにまとめて表示した。高田南部の観測結果では、グラフが40m付近まで収束せず、他の三地区や定説と異なり、地下水温度の年変化が深いところまで及んでいることが明らかになった。ほとんど年変化がなくなった40mの地下水温度は13.2℃であった。また、六日町と同様にスクリーン付近の水温は年間を通じて変化がなく、13.3℃であった。地表に最も近い深度であるGL-3m



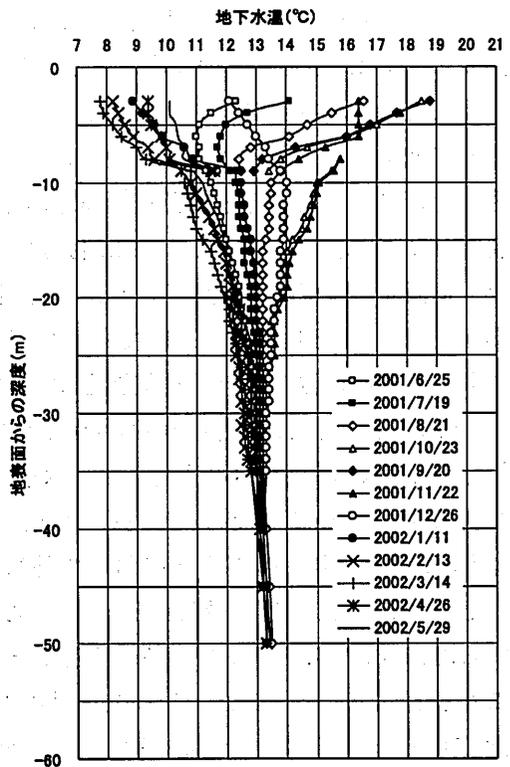
a. 新潟



c. 高田市街地北部



b. 六日町



d. 高田市街地南部

図3 地下水温鉛直分布(2001年6月~2002年6月)

での年変化は、最高が18.8℃(2001/9/20)、最低が7.8℃(2002/3/14)、温度差が11.3℃であった。

県内の気温は、7～8月にかけて最も高くなり、1～2月かけて最も低くなる。各地区の地表に最も近い深度であるGL-2mまたはGL-3mの地下水温の観測結果によると、概して言えば、地下水温が最も高くなるのは9～10月、最も低くなるのは3～4月であり、気温の変化に対する時間的遅れは、概ね2ヶ月程度であった。

#### 4. 考察

##### 4.1 六日町における恒温層以深の水温変化

深部において観測された六日町の地下水温の年変化は、GL-30mでの地下水温の連続測定結果から、地下水位の変動に伴う井戸内の地下水の上下移動によって生じたものであり、地温を反映したものではないことが明らかになった<sup>4)</sup>。

六日町は、冬季に消雪用地下水の揚水によって地下水位が最大で15m程度低下する。河原崎井においては最下端のスクリーンを通してのみ地下水が出入りするので、スクリーンより上位にある地下水は井戸内を上下に移動する。地下水位は、降雪に応じて急激に変動するため、井戸内の地下水は地温と熱的に平衡に達することなく移動するため、その水温は周囲の地温を反映したものとはならない。

従って、地下水温から地下における温度環境を類推する場合、地下水位の変動が大きい時期の井戸の水温を用いることはできない。

六日町の観測結果について、地下水位の変動が著しい2001年12月、2002年1月及び2月の結果を除いて作図した鉛直分布を図4に示した。

この結果、グラフは14m付近で収束し、恒温層が確認された。恒温層以深では地下水温は深度を増すごとに高くなり、年変化はない。六日町の恒温層の深度は約GL-14mであり、温度は13.3℃であった。六日町の年平均気温は12.0℃であり、恒温層の温度は年平均気温に比較して1.3℃高かった。この結果が六日町の地下における温度分布を正しく捉えているものと考えられる。

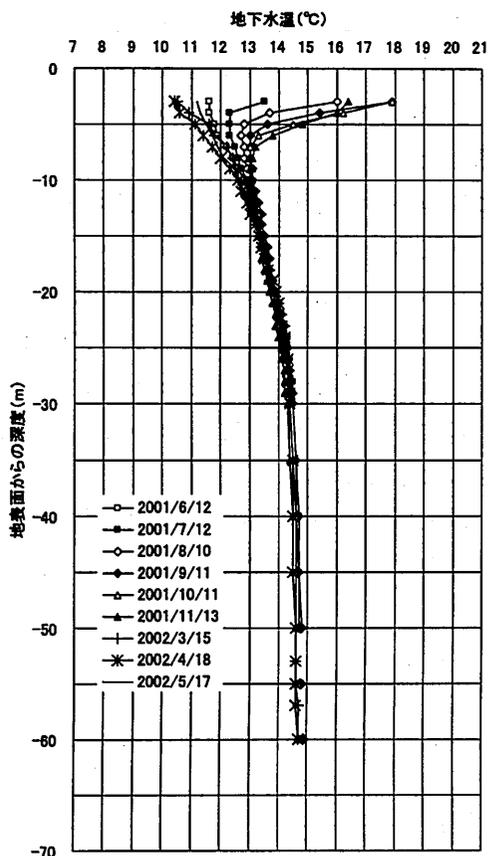


図4 地下水位変動が激しい冬期の観測結果を除いた六日町の地下水温鉛直分布

#### 4.2 浸透水の影響を受けた地下水温度の鉛直分布

高田南部は地形及び表層地質からみると、沖積段丘に区分され、透水性のよい礫がち堆積物が分布する<sup>5,6)</sup>。

公民館52m井の地質柱状図を図5に示した。50m付近に層厚10m前後のG1層と呼ばれる礫層が分布し、良好な帯水層となっている。G1層以浅の地下地質は砂や礫など透水性の良い堆積物が存在し、粘土やシルトなどの透水性の良くない細粒土の分布は少ない。

このように高田南部は地質的にG1層以浅は透水性が高く、従って浸透性の良い地域である。

公民館10m井及び52m井の地下水位の観測結果を図6に示した。10m井は52m井より常に地下水位が高く、定常的に浅層から深層への地下水の流れが存在する。

一般的な恒温層の深度より深い位置まで地下水温度が年変化を示した高田南部の地下水温度の観測結果は、浅層部から深層部へ地下水が浸透していることの表れと考えられる。

一方、六日町の河原崎井周辺のように粘土層が厚く堆積する<sup>7)</sup>地域では、浅層から深層への地下水の浸透が顕著でないため、一般的に言われる10~20m付近に恒温層が観測されたものと考えられる。

以上の結果から、鉛直方向の浸透性の高い地域では、地下水温度の年変化がなくなる深度は、地温の変化から言われている恒温層の深度より深くなるものと考えられる。

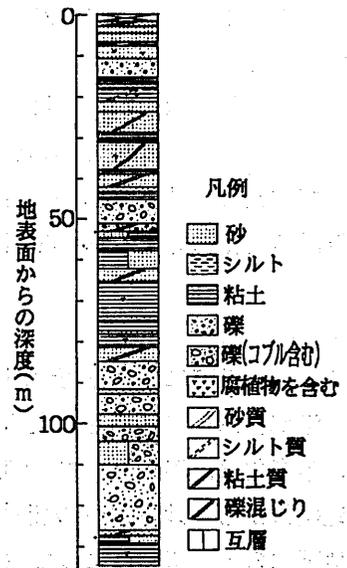


図5 公民館52m井  
削井柱状図

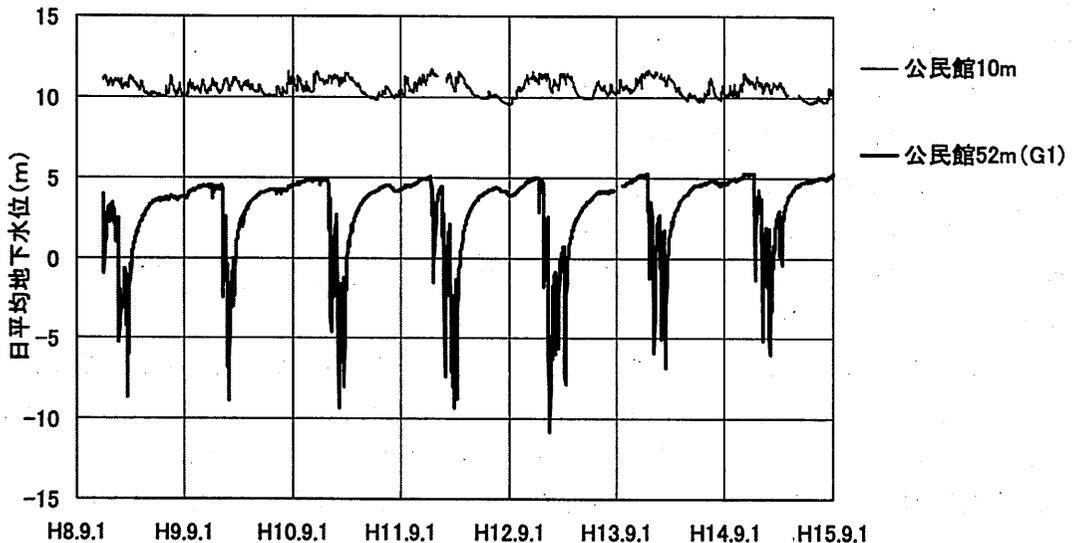


図6 公民館 10m井及び52m井の地下水位の変化

## 5. まとめ

新潟，六日町，高田北部及び高田南部において，地下水温の鉛直分布及びその変化を観測した結果，以下のことが明らかになった。

- (1) 新潟の恒温層について，その深度は約10mであり，その温度は15.2℃であった．新潟の年平均気温は14.0℃であり，恒温層の温度は年平均気温より1.2℃高かった．
- (2) 高田北部の恒温層について，その深度は約11mであり，その温度は13.0℃であった．高田北部の年平均気温は13.3℃であり，恒温層の温度は年平均気温より0.3℃低かった．
- (3) 六日町の恒温層について，その深度は約14mであり，その温度は13.3℃であった．六日町の年平均気温は12.0℃であり，恒温層の温度は年平均気温より1.3℃高かった．
- (4) 気温の変化に対する地下水温変化の時間的遅れは，各地区の地表に最も近い深度であるGL-2mまたはGL-3mにおいて概ね2ヶ月であった．
- (5) 地下水位の変動が激しい時期は，井戸内の地下水は地温と熱的に平衡に達することがなく，その水温は周囲の地温を反映したものとはならない．従って，井戸の地下水温から地下における温度環境を類推しようとする場合，地下水位の変動が大きい時期の地下水温を用いることはできない．
- (6) 地下水が鉛直方向に浸透しやすい地域では，地下水温の年変化がなくなる深度は，地温分布から言われている恒温層の深度より深くなる．

## 文 献

- 1) 山本荘毅 (1992) : 地下水の水温. pp.139-152. 地下水水文学. 古今書院
- 2) 新井正・佐倉保夫 (1980) : 最近の江川の異常水温について, ハイドロロジー, no. 10
- 3) 谷口真人 (1987) : 長岡平野における地下水温の形成機構, 地理学評論, 60-11
- 4) 関谷一義・岩城文太・富永泰子・石橋幸三 (2002) : 地盤沈下地域における地下水温鉛直分布及び地下水質に関する研究-特に, 地下水位の低下による影響-. 財団法人環境地質科学研究所研究年報. 13, pp. 43-60
- 5) 赤羽貞幸・加藤碩一 (1989) : 高田西部地域の地質. 地域地質研究報告 (5万分の1地質図幅), 地質調査所, 89p.
- 6) 国土庁土地局 (1998) : 地下水マップ「新潟地域」及び付属説明書.
- 7) 関谷一義 (1998) : 新潟県六日町に分布する腐植土の<sup>14</sup>C年代と地盤沈下の素因である軟弱層の堆積状況. 新潟県保健環境科学研究所年報, 14, pp.130-132