

### 1. はじめに

近年、限られた地域に対して短時間に多量の雨を降らせる集中豪雨が多発している。特に2006年からはゲリラ豪雨と呼ばれる集中豪雨が頻繁に発生するようになっている。集中豪雨は気象学的には明確な定義はないが、直径10kmから数10kmの範囲に時間雨量50mmを超える場合が目安となる。台風などと異なり予測が困難であるため、土砂災害や洪水などの災害が起きやすい。

県内での集中豪雨で記憶に新しいのは、平成16年7月に発生した7・13水害（新潟・福島豪雨）があげられる。12日夜から新潟県中越地方や福島県会津で非常に激しい雨が降り、旧栃尾市（現長岡市）や旧下田村（現三条市）では総雨量が400mmを越す記録的な雨量を観測した。このため、信濃川水系である五十嵐川や刈谷田川や中之島川の堤防が11箇所決壊し、三条市、長岡市、見附市など、広範囲で浸水の被害が発生した。この災害では、死傷者20人、全壊・半壊・一部損壊など20,655棟に被害が出た。このような水害を少しでも軽減できる対策を講じることは急務といえる。

見附市では、雨水貯留菅の設備を行っているほか、平成19年度から新世代下水道支援制度を活用し、個

人が設置する民間雨水貯留槽設置への助成を行い、雨水の流出抑制を推進している。また、見附市は豪雪地帯であることから、道路除雪の有効な手法である消雪パイプが普及しており、消雪用井戸が多数存在する。消雪パイプは克雪対策としては有効であるが、地下水の大量汲み上げによる地下水低下や地盤沈下などが大雪の年には影響が現れる。見附市における2004年4月1日から2006年12月31日までの地下水位の変動と降雨量・積雪量のグラフを図1に示す。積雪期には地下水位が大きく低下し、積雪が無くなると次の積雪期までかけてゆっくりと地下水位が上昇しているのがわかる。この地下水に雨水を直接注入することにより、水害の軽減と地下水の涵養を図ることが本研究の目的である。

これまでの研究<sup>1)</sup>で、消雪井戸の注入水処理能力は雨水対策に十分有効な能力を持っていることが実証された。また、見附市の地下水の水質は、見附市の上水道の水質基準に適應するほど良質といえるため、注入水を入れる際、水質を考慮する必要があることがわかった。そこで本研究において、地下水と雨水の水質について季節変動を把握し、雨水の消雪井戸への直接注入の可能性について検討する。

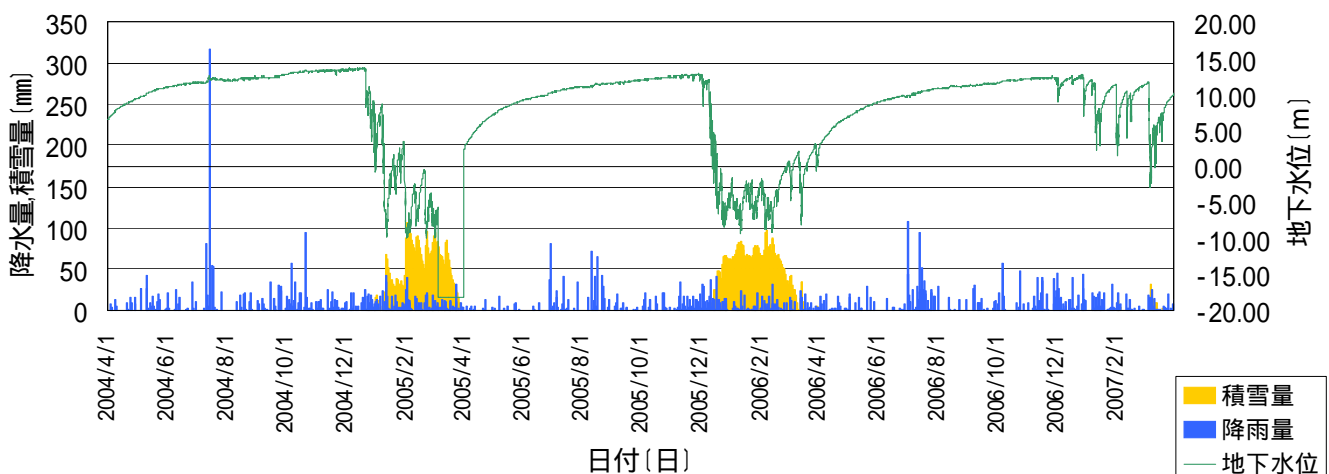


図1 地下水位と降雨・積雪量

## 2. 計測した水質項目について

今回の雨水及び観測井戸の水質試験に使用した測定器は、測定条件を入力するターミナルとセンサーモジュールから成る。センサーモジュールにおいて pH・溶存酸素・電気伝導率・濁度・水温・塩分・水深を測定することができる(多項目水質計と称す)。

pH とは、水素イオン指数と呼ばれ、水の酸性・アルカリ性の度合いを表す数値であり、単位はない。7 未満は酸性、7 は中性、7 より大きいとアルカリ性となる。溶存酸素とは、水の中にどれだけ酸素が溶けているかの度合いを示すもので、単位は mg/L とする。通常 7~14mg/L の酸素が水に溶けていて、水質汚濁程度の指標で、環境水質基準値では河川や海域において 2mg/L 以上とされており、2mg/L 以下では悪臭がする。電気伝導率とは、水の電気の伝わりやすさを示すものである。単位は mS/m である。水の電気伝導率は水に溶解する無機塩類の量に比例するため、水質の良否、濃度を判断する指標として用いられる。水中に電解質のイオンの量が多いほど電流が多く流れて電導度が高くなる。濁度とは、濁りの程度を数値として示したものである。単位は NTU である。濁度が 10NTU 未満であれば見た目は透き通って見える。国が定めた水質基準では「人の飲用及び生活利用のために水道水が満たしていなければならぬ濁度」は 2NTU とされている。明らかに濁っていると判断される濁度は、100NTU 程度といわれている。水温は水の温度、塩分は水の中にどれだけの塩分が含まれているかを示すものである。水深は、センサーモジュールに装備している水圧センサで、水深を計測する。

## 3. 実験概要

### 3.1 雨水の水質試験及び雨量計測

雨水の水質に関して、試験時の雨の状況や採取箇所によって、雨水の水質がどのように変化するかを調べた。2009 年 12 月 3 日から 2009 年 12 月 12 日の雨天時に多項目水質計を用いて、長岡技術科学大学敷地内の駐車場の排水管を通ったもの 2 箇所(ポイント )、道路の排水路を通ったもの 1 箇所(ポイント )、屋根(スチール製)を通った

ものを 3 箇所(ポイント )の計 6 箇所のポイントから採取した雨水の水質試験を行った。

### 3.2 観測井戸の水質試験

2009 年 12 月 18 日から見附市の今町中学校内にある観測井戸を使って地下水の水質連続測定を行った。観測井戸の中にケーブルがつながった状態でセンサーモジュールを観測井戸の中に入れて、10 分間隔でデータをとっている。センサーモジュール内に蓄えられたデータを、2 週間ごとにパソコンで回収した。なお、地表面から観測井戸内のセンサーモジュールまでの距離は 30.9m である。

## 4. 試験結果と考察

### 4.1 雨水の水質試験及び雨量計測

雨水の水質試験は雨量計測と同時に進行。雨が降り始めたら雨量計測を行い 1 時間ごとに雨量を計測した。6 箇所のポイントから採取した雨水が入っている容器の中にセンサーモジュールを入れて 1 分間隔でデータを取り、10 分間の計測を行いその平均から水質を算出した。

表 1、2 に示すように試験結果を降り始めから 10mm 以上となったときの雨水の水質で見ると、道路や排水路を通った雨水は pH の値が中性に近く 6 前後であるが、屋根を通った雨水は pH が 4~5 と小さいことがわかる。このことからわかることは、雨水自体は酸性であると考えられるため、スチール製の屋根では pH の変化は見込めないが、アスファルトやコンクリートを通ることで、酸性の雨水が中性化していることが考えられる。

濁度に関しては、水道水や水質基準を大きく上回っており、特に排水路を通った雨水については、採取時に濁っているのが確認できた。

雨水の溶存酸素はある程度高い値を示しているものの、地下水の溶存酸素との比較で検討する必要がある。

表 1 排水路・排水管を通った雨水の水質（降り始めから雨量 10mm 以上で採取）

| 測定   | PH            | 溶存酸素 | 電気伝導率 | 濁度   | 水温   | 塩分  | 水深  |
|------|---------------|------|-------|------|------|-----|-----|
| 水道水  | 7.11          | 9.57 | 12.8  | 0.5  | 14.1 | 0.0 | 0.0 |
|      | 6.17          | 8.73 | 2.2   | 9.0  | 12.4 | 0.0 | 0.0 |
|      | 5.96          | 8.66 | 3.0   | 8.7  | 12.5 | 0.0 | 0.0 |
|      | 6.07          | 8.89 | 0.4   | 56.6 | 12.2 | 0.0 | 0.0 |
| 水質基準 | 5.8 以上 8.6 以下 | 5 以上 |       | 2 以下 |      |     |     |

表 2 屋根を通った雨水の水質（降り始めから雨量 10mm 以上で採取）

| 測定   | pH            | 溶存酸素 | 電気伝導率 | 濁度   | 水温   | 塩分  | 水深  |
|------|---------------|------|-------|------|------|-----|-----|
| 水道水  | 7.11          | 9.57 | 12.8  | 0.5  | 14.1 | 0.0 | 0.0 |
|      | 4.50          | 8.84 | 5.2   | 5.5  | 11.9 | 0.0 | 0.0 |
|      | 4.78          | 8.77 | 1.5   | 6.5  | 12.8 | 0.0 | 0.0 |
|      | 4.85          | 8.80 | 0.3   | 3.5  | 12.6 | 0.0 | 0.0 |
| 水質基準 | 5.8 以上 8.6 以下 | 5 以上 |       | 2 以下 |      |     |     |

#### 4.2 観測井戸の水質試験

写真 1 に示す観測井戸の中にセンサーモジュールを入れて水質を計測した。図 1～図 6 に試験結果を示す。



写真 1 観測井戸

図 2 より地下水位は積雪によって変化しており、積雪の量が多くなると水位が減り続けていく。これは消雪ポンプが稼働したためである。また、地下水は使用すると回復するまでに時間がかかるため雪が降りつづいていくと地下水の回復が追いつかなくなることがわかる。

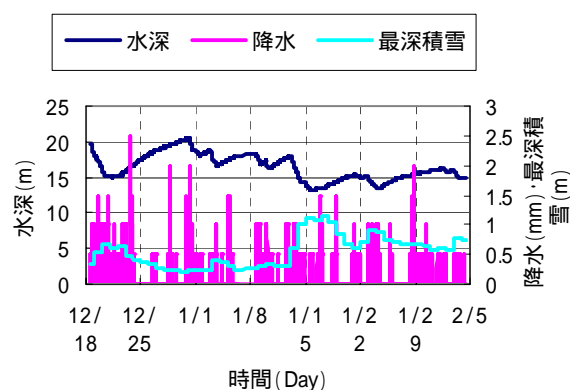


図 2 地下水水深と降水量・最深積雪の関係

図 3 に pH の値を示す。pH の値は 7 前後であり、ほぼ中性を示しているが、水深とともに変動している点は興味深い。1月10日あたりから pH の値が徐々に低下しているように見えるが、これはセンサーのメンテナンス不足であることがわかった。2月の時点で校正を行うと、センサーで読みとる pH の値が真値より 0.4 下回っていた。以後、2週間毎にメンテナンスを実施することとした。雨水の pH は道路や排水路を通った雨水の場合は中性に近くなるが（表 1）、屋根から流れた雨水は pH が 4～5 の酸性であり（表 2）大きく差がある。雨水を注水するためには pH を上げる必要があるといえる。

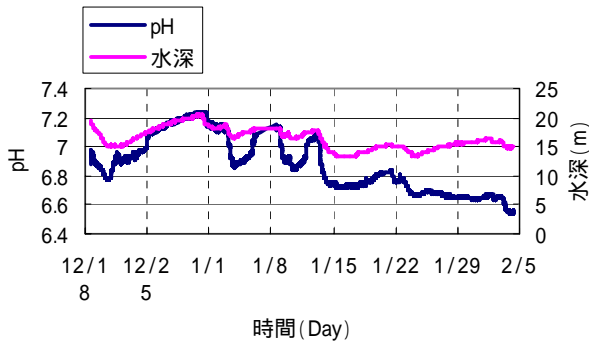


図3 地下水水深とpHの関係

図4より溶存酸素はセンサーモジュールを地下水に入れてからすぐのときには反応があるが、それ以外は0mg/Lの状態が続いていることから、地下水にはほとんど溶存酸素がないことがわかる。雨水は(表1、2)地下水に対して溶存酸素が高いため、雨水を注水した場合には、土中に存在している微生物への影響を考慮する必要がある。

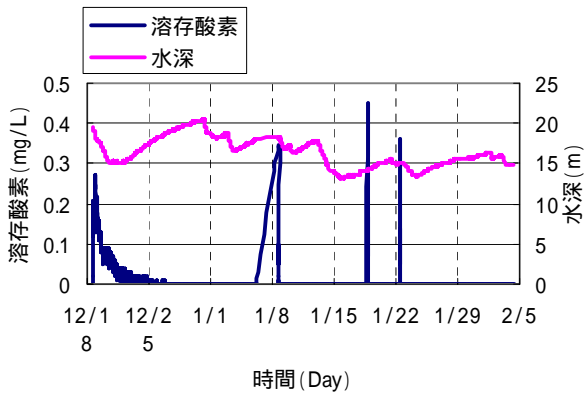


図4 地下水水深と溶存酸素の関係

図5より地下水の電気伝導率は30~35mS/mを取っており、一方雨水の電気伝導率は0~5mS/mほどしかない(表1、2)。電気伝導率は水中に電解質のイオン量が多いほど電流が多く流れて電導度が高くなることから、この地下水内には多くの電解質イオンが含まれていると考えられる。地下水の電気伝導率もpHと同じく水深とともに変動している点は興味深い。

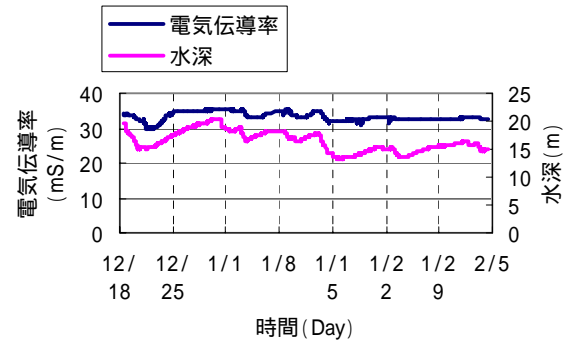


図5 地下水水深と電気伝導率の関係

図6の地下水の濁度については、通常は0NTUを取っているが、たまに5NTU程度まで上昇することもある。表1より雨水の濁度は道路や排水路を流れた雨水では高い値を示して、50NTUを超えていることもある。表2より屋根を流れてきた雨水の濁度の値は、道路や排水路を流れた雨水よりも低い値をとっているが、環境水質基準や水道水質基準で定められている濁度の値よりも高い値をとっている。このあたりは地下水を飲用として利用していないため、ある程度の濁度は許容できるかもしれないが、ストレーナーの目詰まりや浮遊物の沈殿により井戸が埋まってくるのには注意が必要であろう。

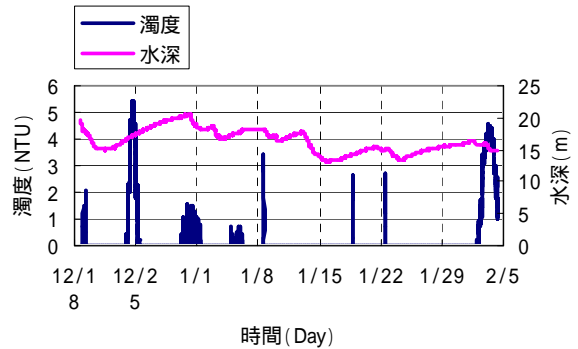


図6 地下水水深と濁度の関係

図7の地下水の水温は、14.5でほぼ一定値を取っていることがわかる。また、地下水中の塩分については感知できなかった。

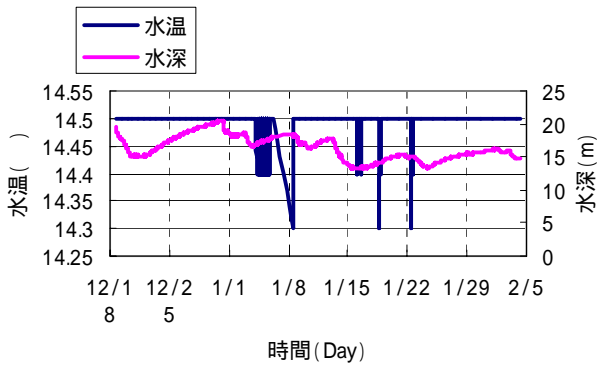


図7 地下水水深と水温の関係

図2のpHと図4の電気伝導率は水深と連動して変化しているように見える。そこで、これらの値が水圧と関係があるか調べるため、観測井戸の深さ方向の変化を計測した。図7に水深とpHの関係を示す。この時の地下水位は地表面から16.8mの位置であった。地下水位の浅いところでは(地下水位面から2m程度)pHは7.2と高い値を取り、地下水位面から8m程度まで徐々に値が小さくなっている。それ以深はpHの値は6.85程度でほぼ一定となる。水圧で考えると、水圧が大きくなるほどpHは小さくなることになる。一方、図2のpHが水深と連動しているということは、水圧が大きくなるとpHも大きくなることになり、図7の傾向と逆になる。つまり、pHが水圧によって変動しているとは言えず、地下水の流れ等によって変動している可能性が高い。また、水深が2~14mで、電気伝導率は30.9mS/m~31.7mS/m、溶存酸素は0.03mg/L~0.24mg/L、水温は14.5~14.6の変化であり、水深方向の変化は小さいことがわかる。

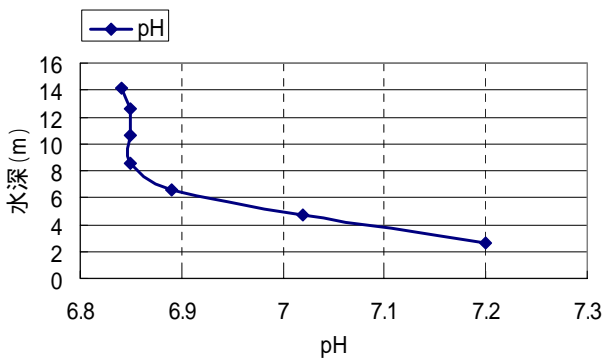


図7 pHの深さ方向の変化

## 5. 結論

- 1) 地下水位は積雪に大きく関わる。積雪が多くなると消雪パイプの使用により地下水位が下がり、消雪パイプを使用しなければ地下水位はゆっくり回復する。
- 2) 地下水のpHは雨水より高く、水道水とほとんど同じである。電気伝導率は雨水よりも高く、電解質イオンが多く含まれている。
- 3) 道路や排水路を通った雨水は濁度が高くなるため直接の注水は難しい。また、屋根を通った雨水は濁度が道路や排水路を通ったものよりも低い、pHの値が低く酸性である。
- 4) 地下水に対して雨水は溶存酸素が高いため、雨水を注水するときは地下水内の微生物への影響を考慮する必要がある。

今後は、観測井戸の水質計測を、年間を通して行い、季節ごとの変化を把握する。さらに、雨水と地下水を混合した水の水質についても調べていき、雨水注入の地下水への影響を定量化していく予定である。

## 参考文献

- 1) 丸山達也：消雪井戸を利用した雨水の地下水涵養に関する基礎的検討，長岡技術科学大学建設工学課程卒業論文，2009。

## 謝辞

観測井戸へのセンサー設置においては、見附市と今町中学校の協力によって実現している。また、水質計測においては、見附市、(社)雨水貯留浸透技術協会、(有)アートンシビルテクノのご協力とご助言で実施することができている。ここに謝意を表す。