

# 北勢地方の自噴井

平成 27 年 2 月

三重大学

大野 研

## 0. 序章

1991年度に、北勢地方の自噴井10カ所の計測を開始し、2009年度までに4カ所の自噴井の計測ができなくなった。したがって、現在は、北勢地方の6カ所の自噴井から、月に1回自噴量、水温、電気伝導度、pHを計測している。これらは、北勢地方の地下水の涵養、流動、流出をあらわしており、北勢地方の地盤環境の基本的なデータとなる。北勢地方の健全な地盤環境に必要な計測である。

## 1. 地下水調査の概要

- 調査地点：図1に7カ所の井戸の位置を示すが、井戸3は一作年度噴出しなくなっている。表1に地表地質、標高、井戸深度を示す。
- 調査項目：調査項目は、自噴量、水温、電気伝導度、pHである。

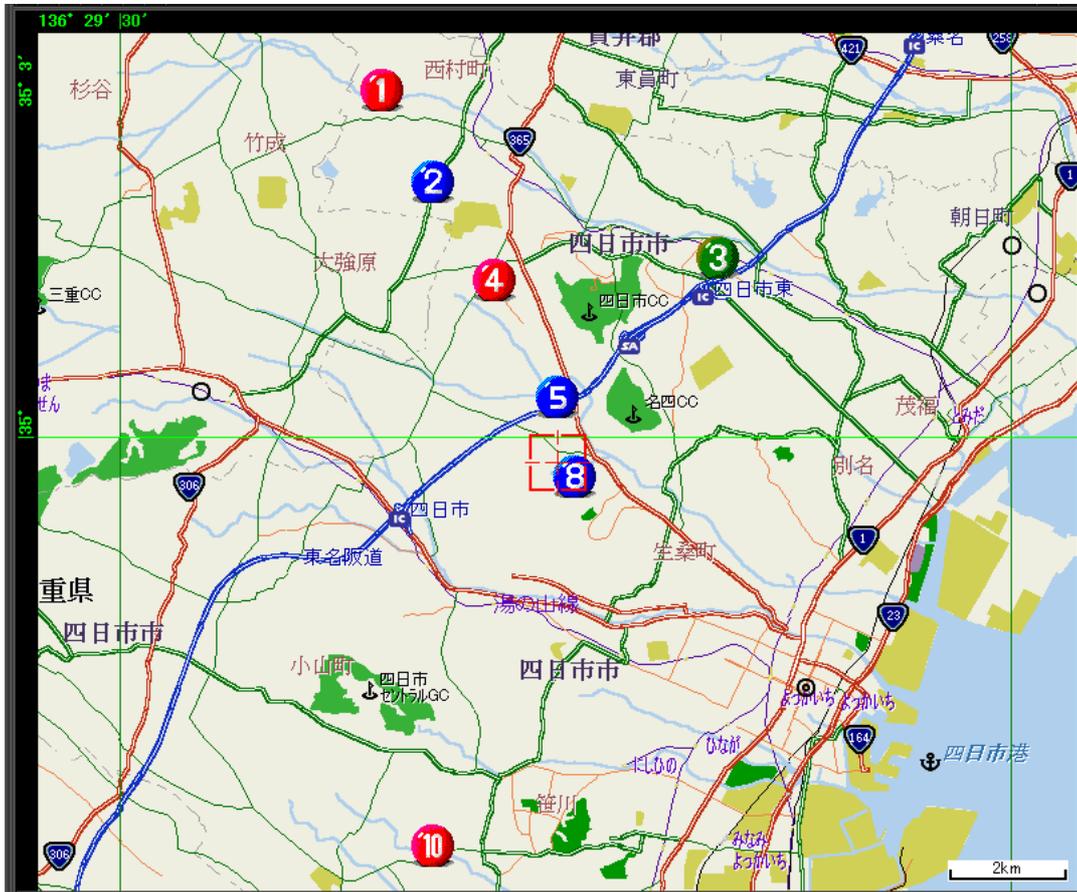


图 1 測定自噴井位置

表 1 調査井戸の深度・標高。地表地質

井戸番号	深度(m)	標高(m)	地表地質
NO.1	-178	43	河床・新期扇状地推積物
NO.2	-243	45	低位段丘・中位段丘推積物
NO.3	-41	22	河床・新期扇状地推積物
NO.4	-382	45	低位段丘・中位段丘推積物
NO.5	-276	39	低位段丘・中位段丘推積物
NO.8	-234	50	低位段丘・中位段丘推積物
NO.10	-108	32	低位段丘推積物

## 2. 地下水調査の結果及び考察

### 2-1 自噴量

図 2-1 から図 2-7 に、1991 年 5 月から 2015 年 1 月までの自噴量の変化を示す。

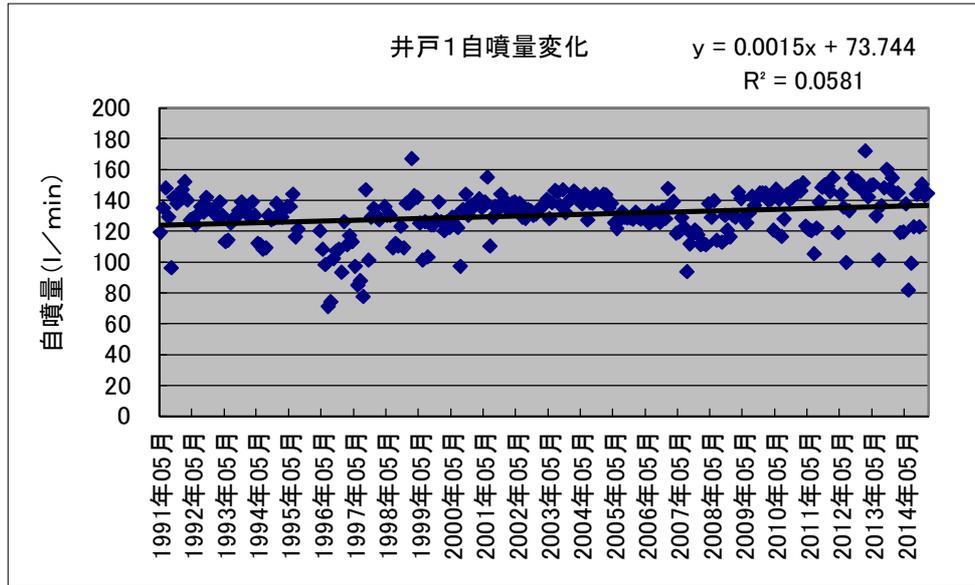


図 2-1 自噴井 1 の自噴量変化

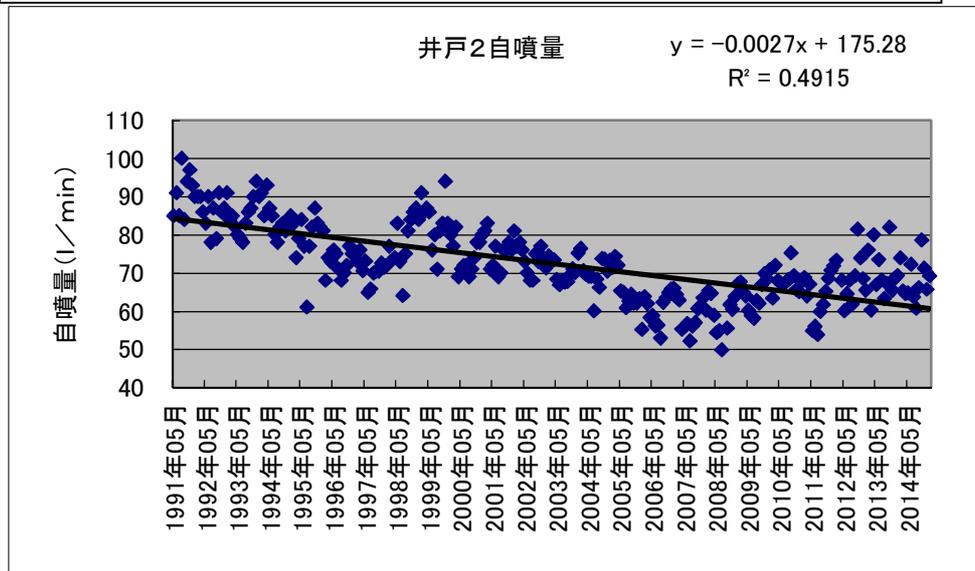


図 2-2 自噴井 2 の自噴量変化

2009 年度から計測出来なくなった。

図 2-3 自噴井 3 の自噴量変化

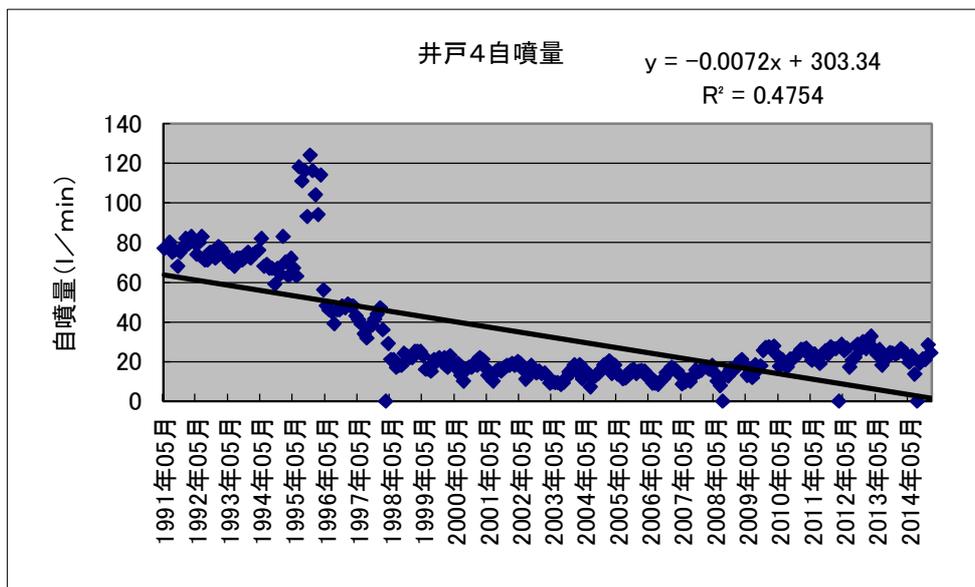


図 2-4 自噴井 4 の自噴量変化

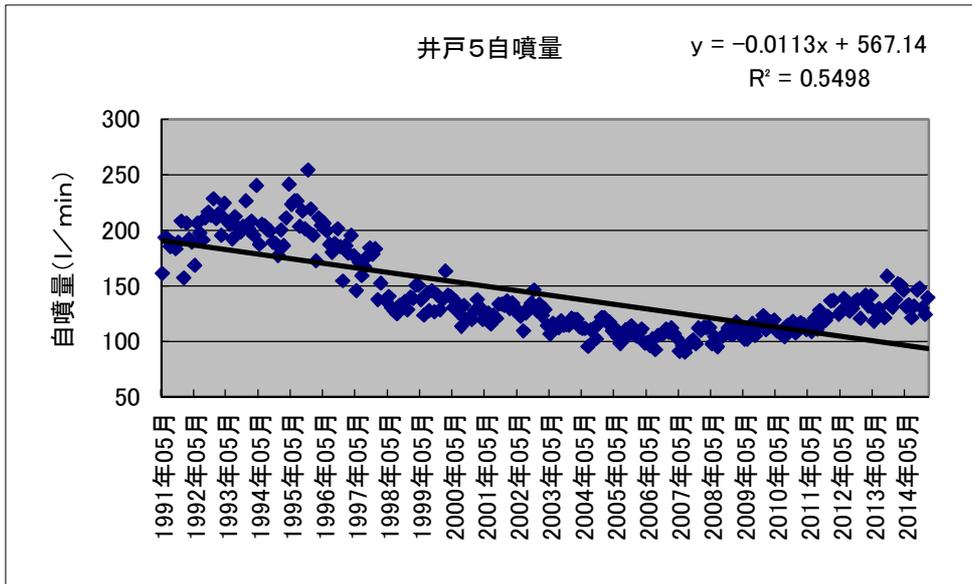


図 2-5 自噴井 5 の自噴量変化

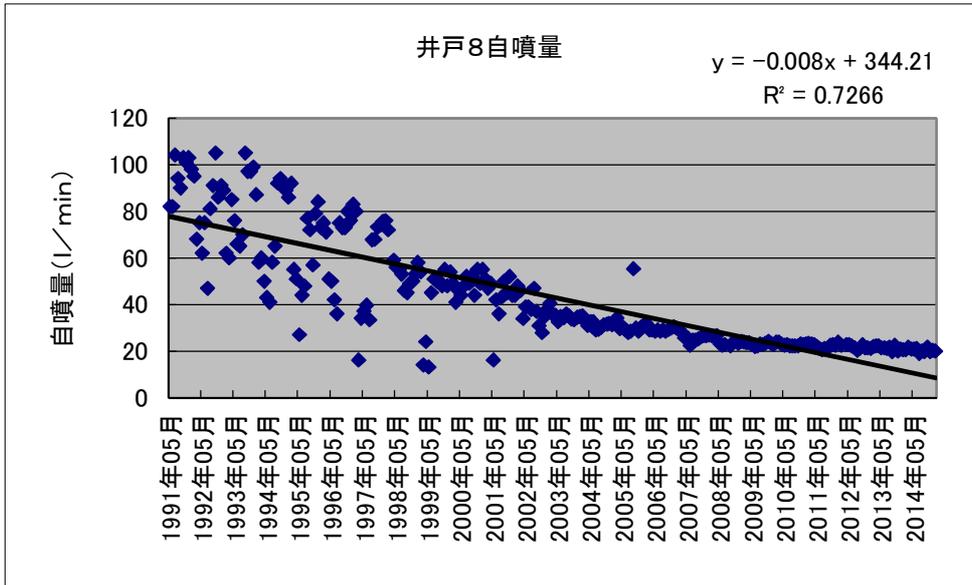


図 2-6 自噴井 8 の自噴量変化

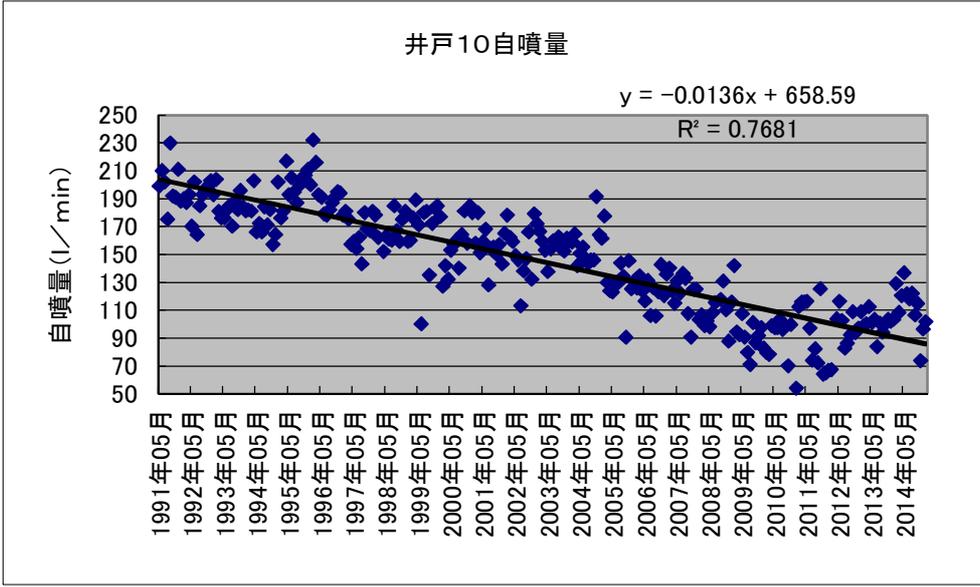


図 2-7 自噴井 10 の自噴量変化

各井戸の自噴量は、長期的には減少傾向にあるが、2006年頃から増加傾向にあることがわかる。

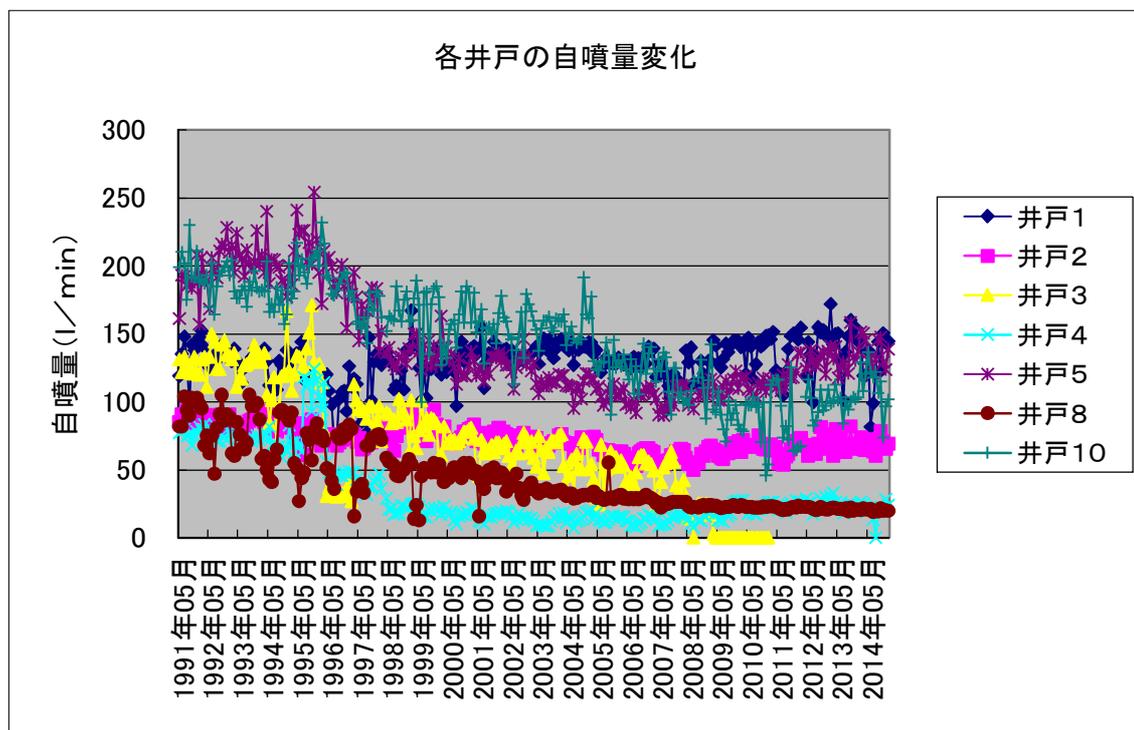


図 2-8 各井戸の自噴量変化

図 2-8 に全ての井戸の自噴量を示す。この図から見ても分かるように、井戸 1 以外の自噴量は、長期的には減少傾向にあるが、2006 年頃から減少傾向が止まり、安定または増加傾向に転じているように思われる。井戸の自噴量が地下水賦存量に比例すると仮定した場合、これは好ましい傾向である。

次に、図 2-9 から図 2-16 に各井戸の地下水温の変化を、図 2-17 から図 2-24 に電気伝導度の変化を、図 2-25 から図 2-32 に pH の変化を示す。ただし、pH の測定に関しては、2004 年度からしか行っていない。

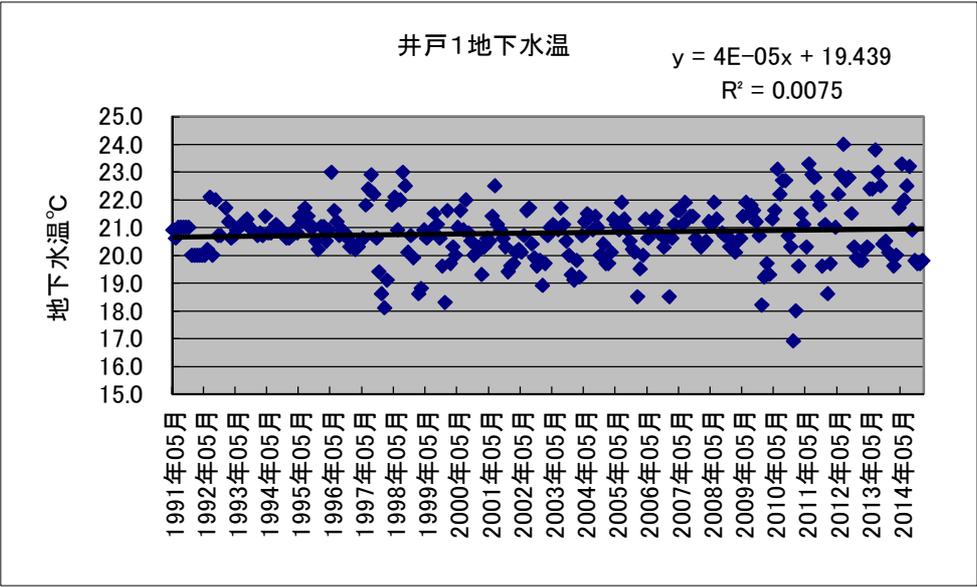


図 2-9 自噴井 1 の地下水温

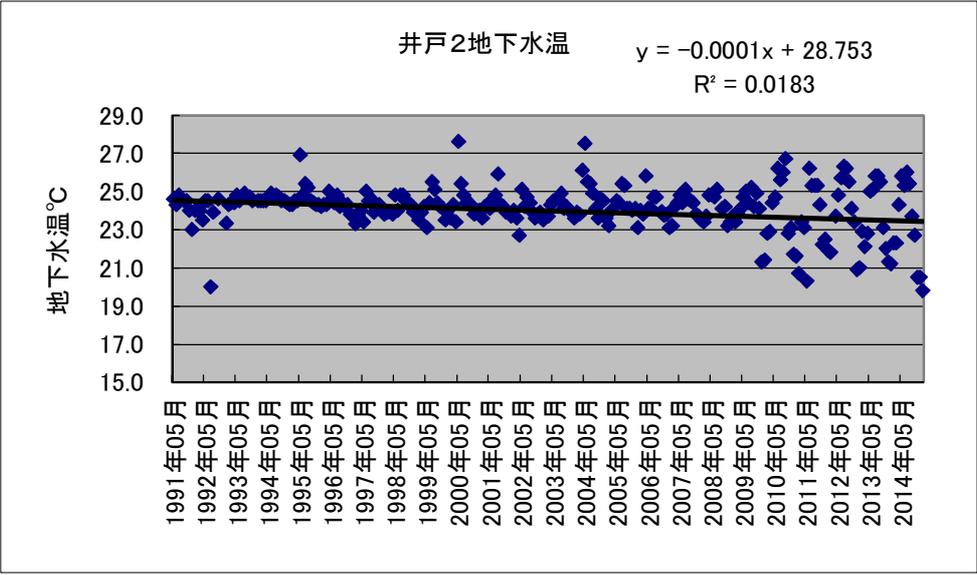


図 2-10 自噴井 2 の地下水温

2009 年度から計測出来なくなった。

図 2-11 自噴井 3 の地下水温

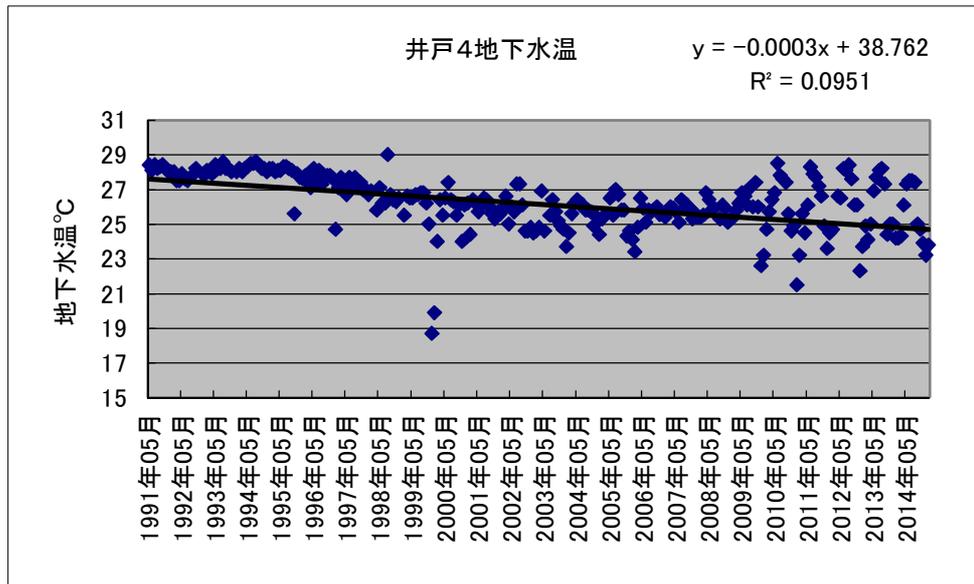


図 2-12 自噴井 4 の地下水温

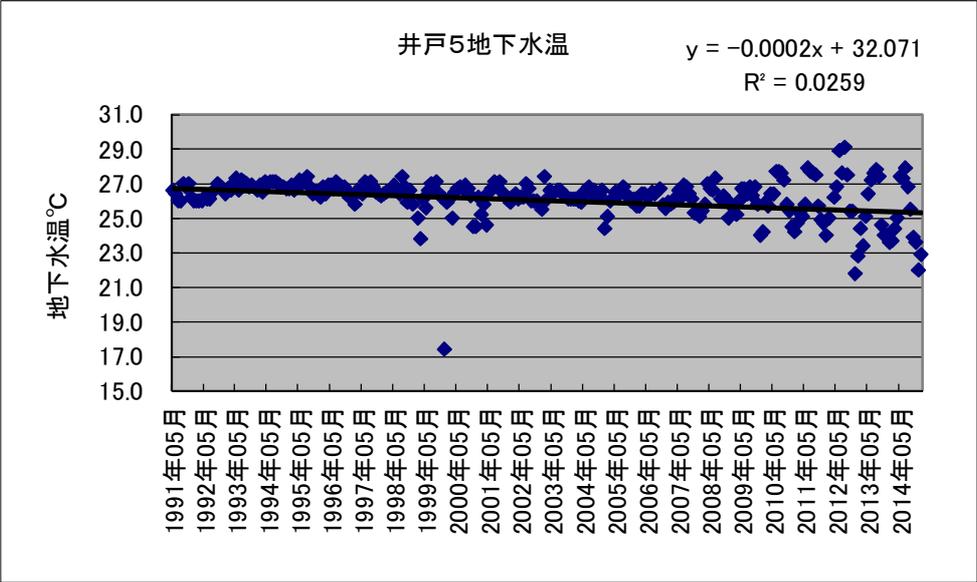


図 2-13 自噴井 5 の地下水温

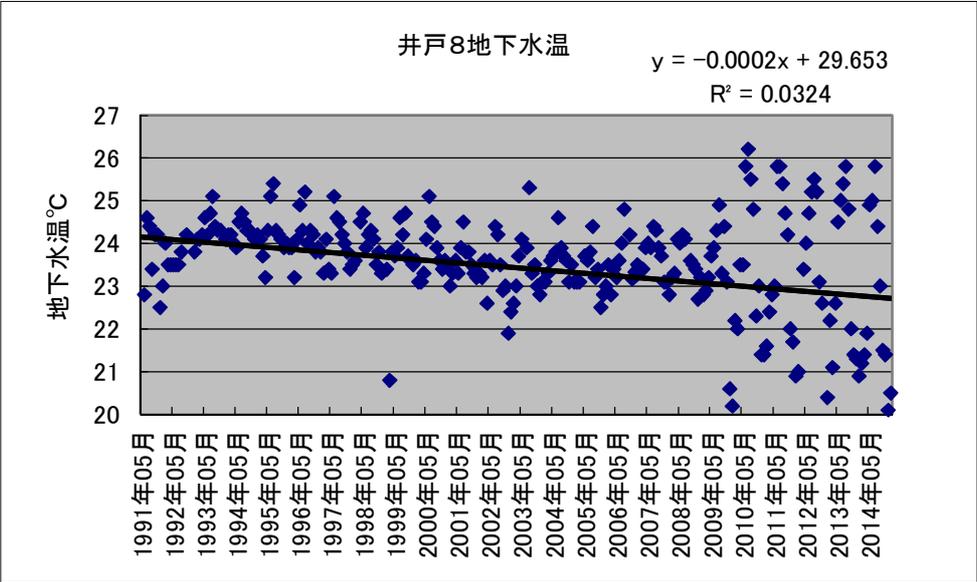


図 2-14 自噴井 8 の地下水温

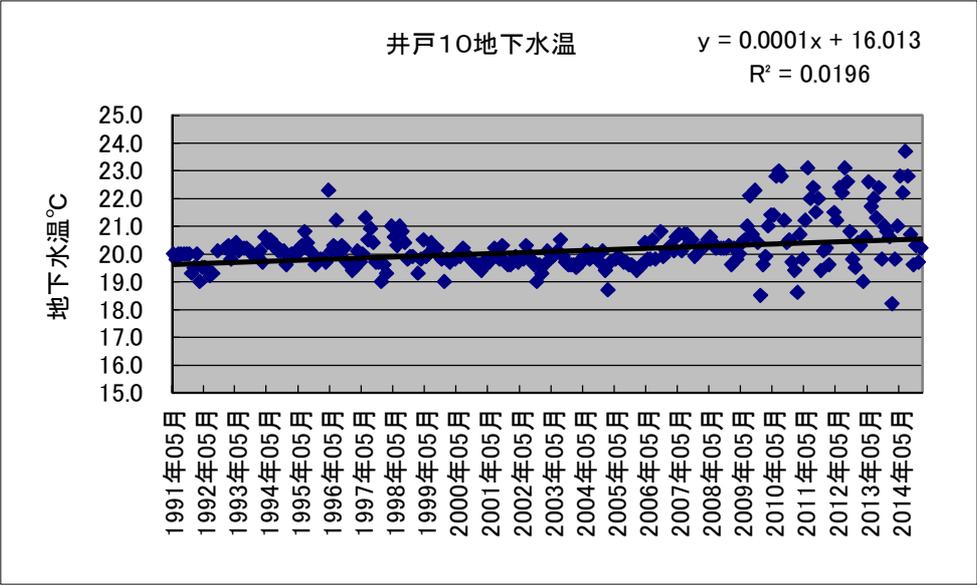


図 2-15 自噴井 10 の地下水温

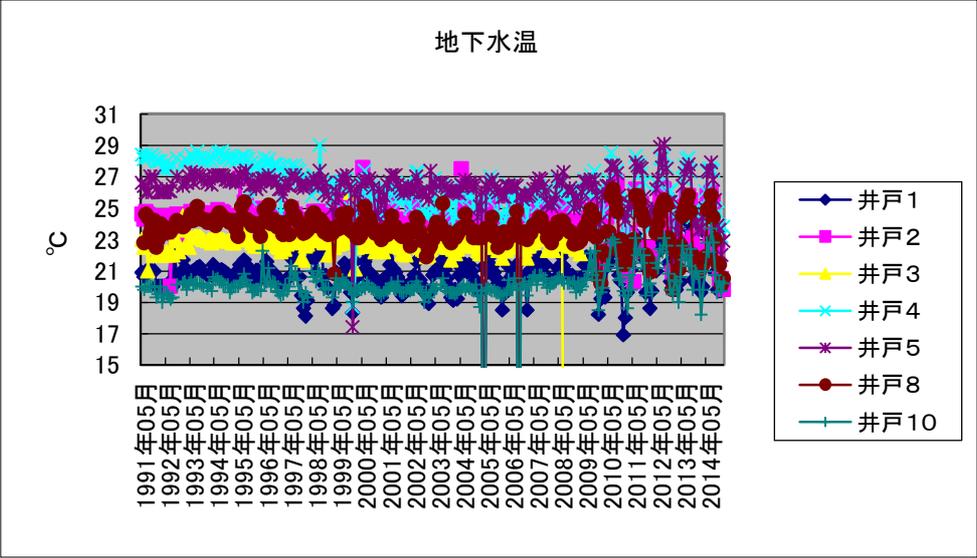


図 2-16 各井戸の地下水温変化

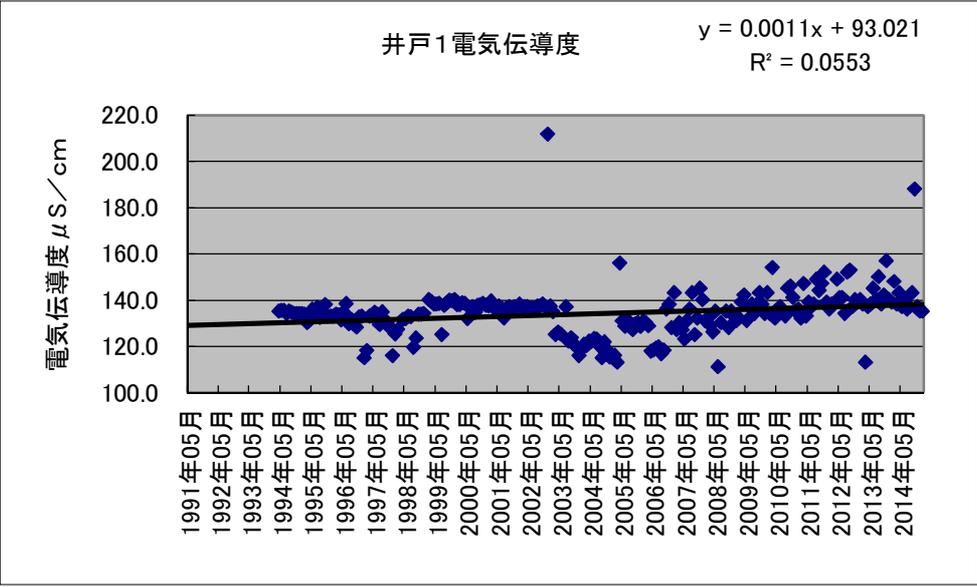


図 2-17 自噴井 1 の電気伝導度

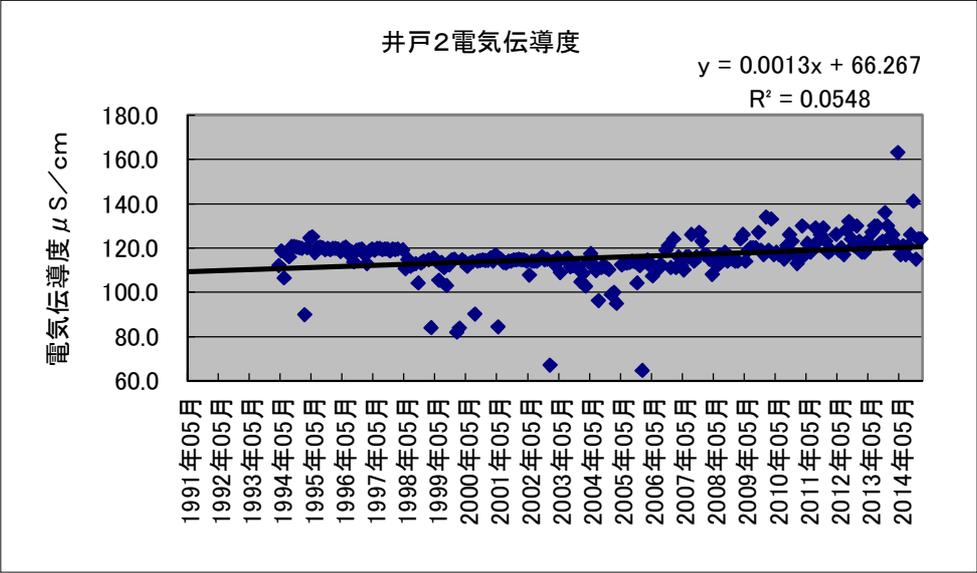


図 2-18 自噴井 2 の電気伝導度

2009 年度から計測出来なくなった。

図 2-19 自噴井 3 の電気伝導度

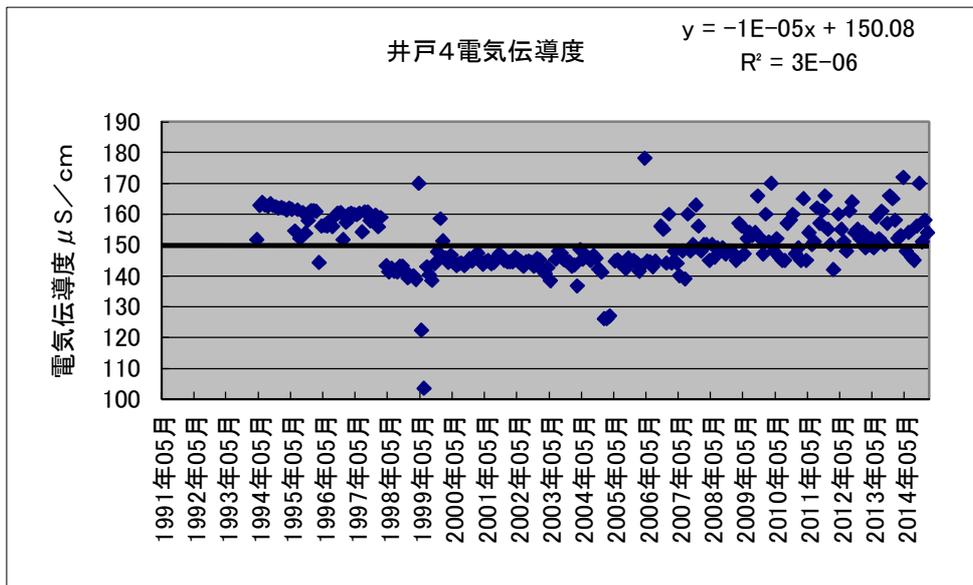


図 2-20 自噴井 4 の電気伝導度

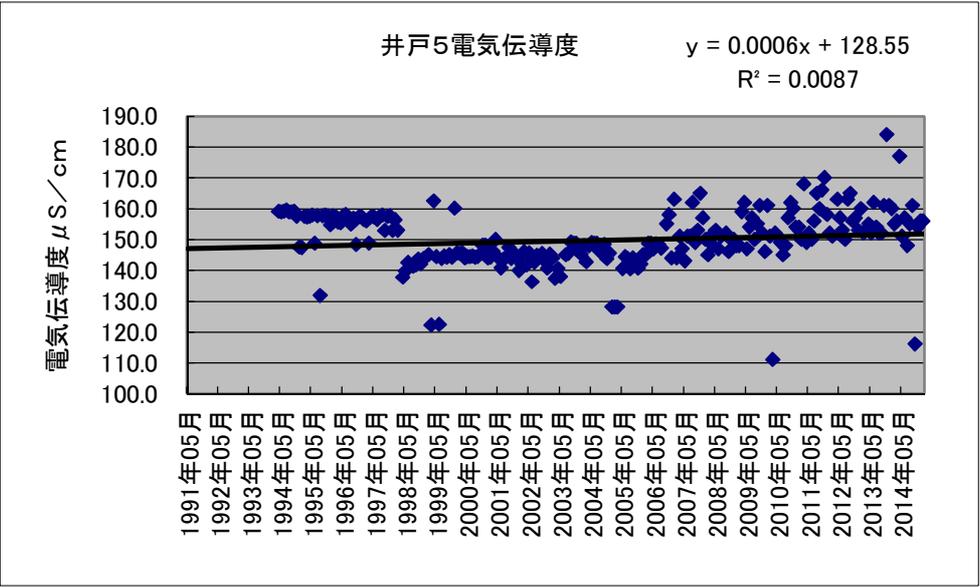


図 2-21 自噴井 5 の電気伝導度

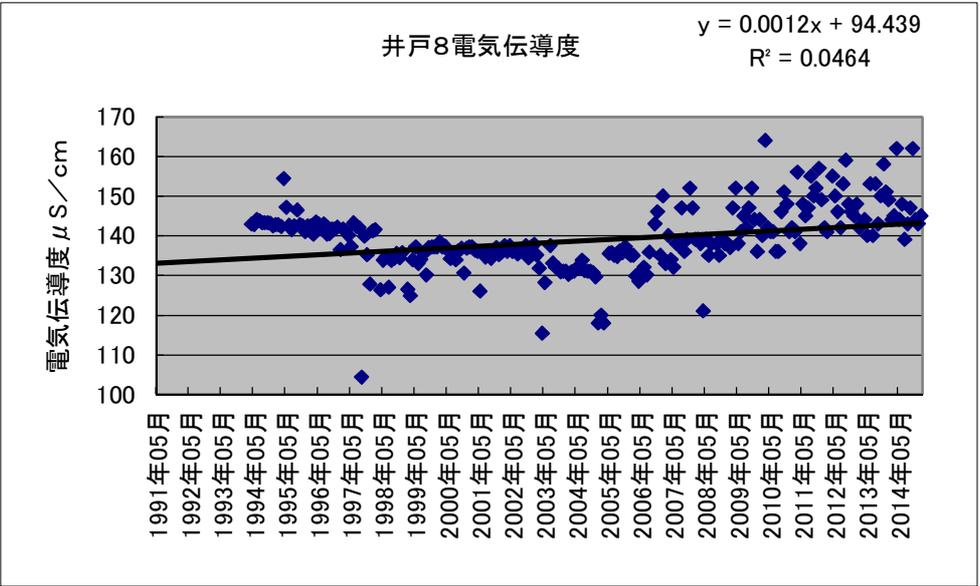


図 2-22 自噴井 8 の電気伝導度

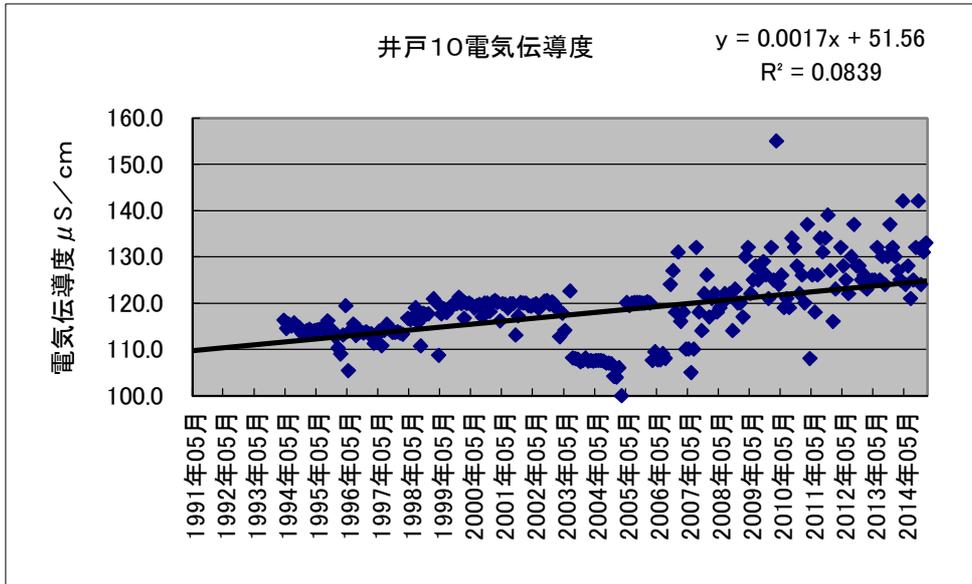


図 2-23 自噴井 10 の電気伝導度

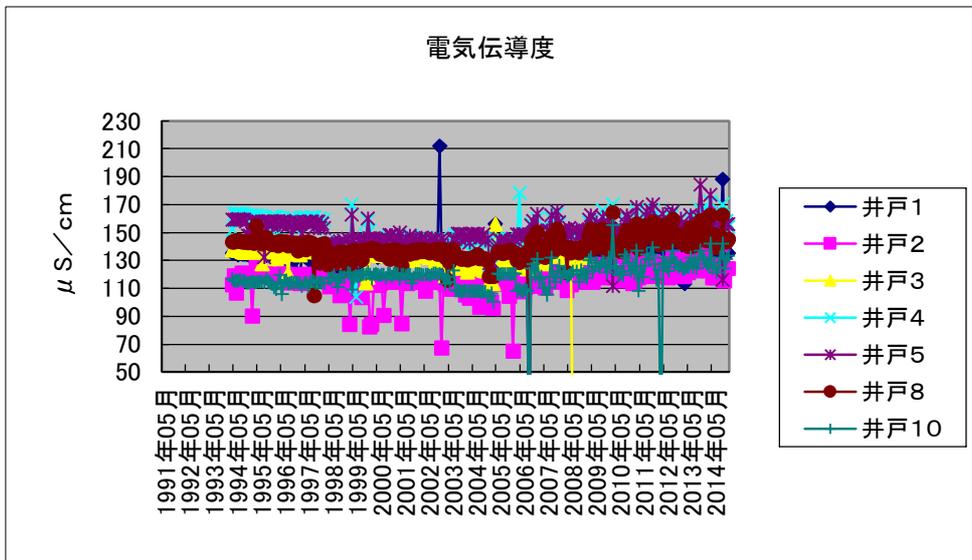


図 2-24 各井戸の電気伝導度変化

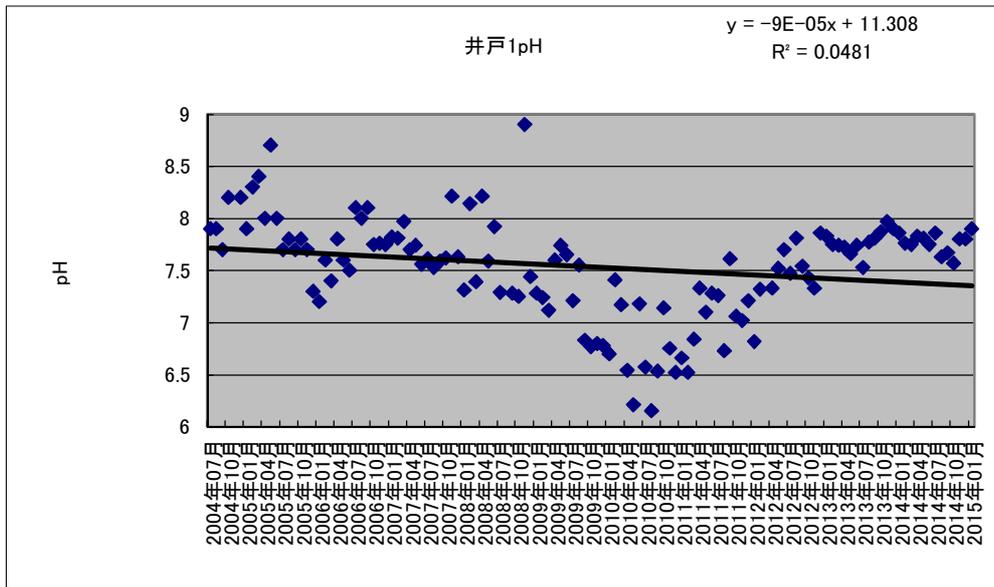


図 2-25 自噴井 1 の pH

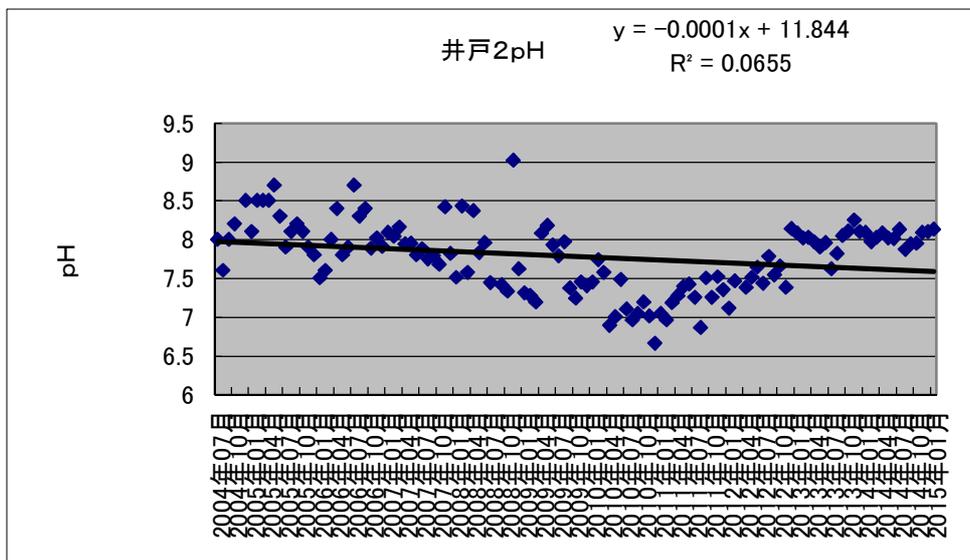


図 2-26 自噴井 2 の pH

2009 年度から計測出来なくなった。

図 2-27 自噴井 3 の pH

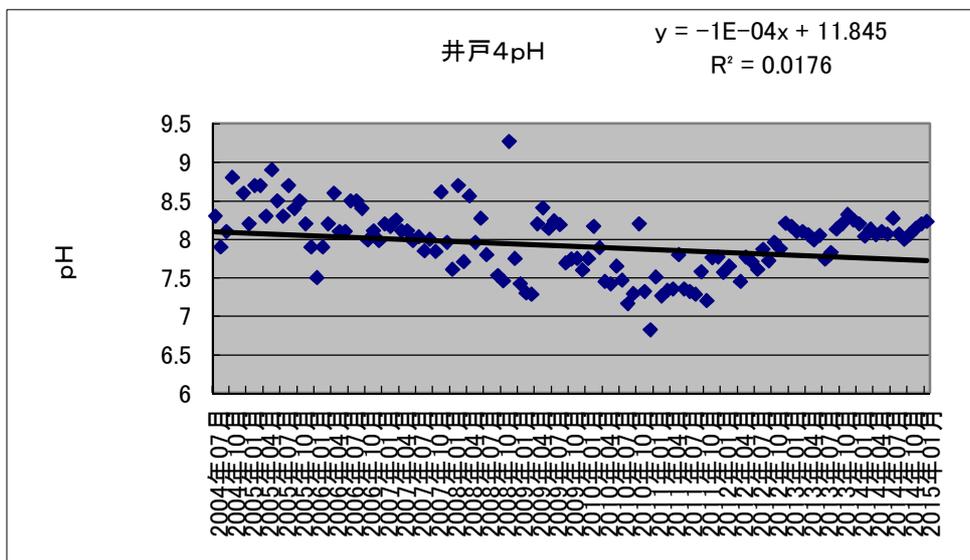


図 2-28 自噴井 4 の pH

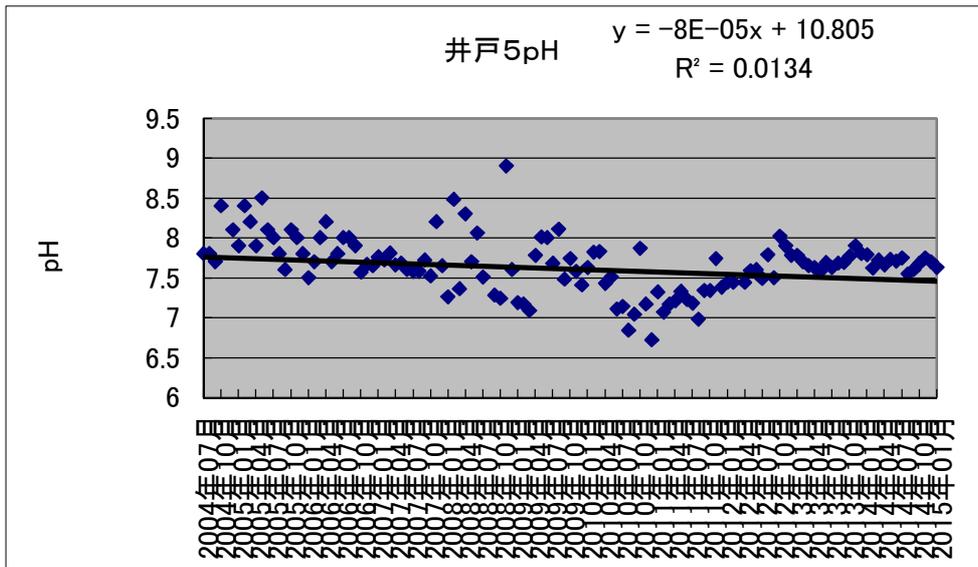


図 2-29 自噴井 5 の pH

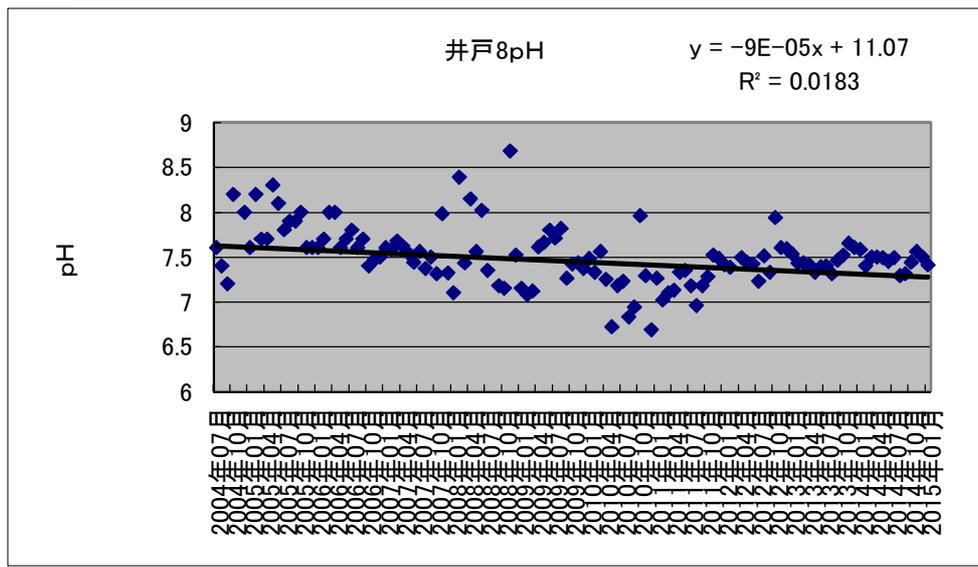


図 2-30 自噴井 8 の pH

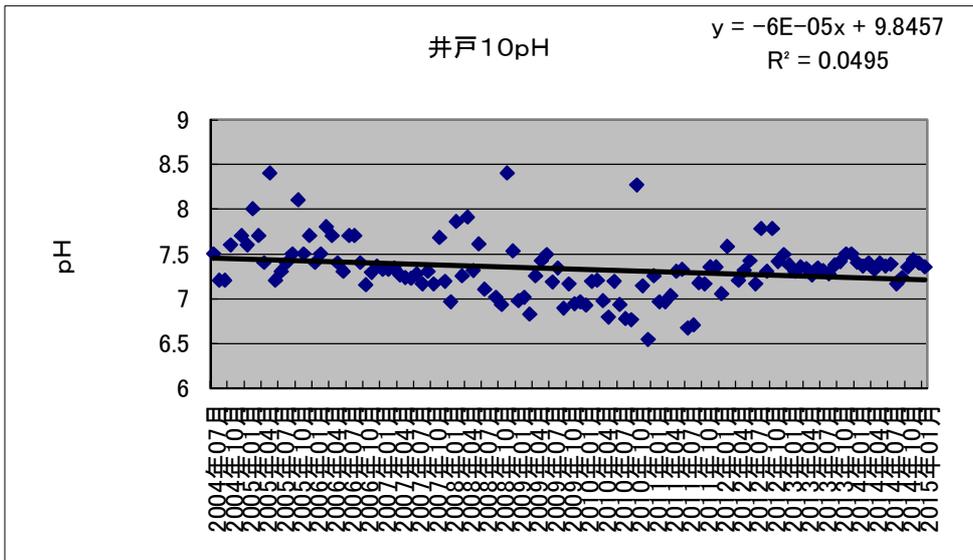


図 2-31 自噴井 10 の pH

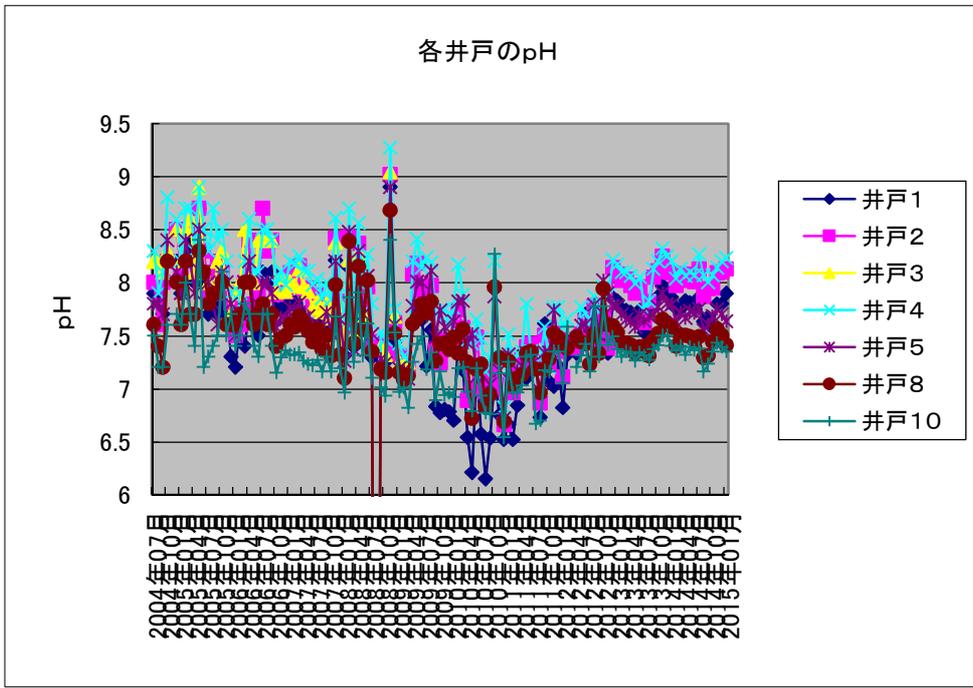


図 2-32 各井戸の pH 変化

地下水温に関しては、やや低下傾向を示す井戸が多いが、近年の顕著な特徴はばらつきが大きくなったことである。

電気伝導度に関しては、やや増加傾向を示す井戸が多く、地下水温と同様に近年ばらつきが大きくなってきている。

これらのことから、地表水の流入が多くなってきている可能性が疑われる。

一方pHは、計測当初から減少傾向にあったのが、2010年あたりから上昇傾向し、安定してきている。ばらつきも小さい。この結果は、地下水温や電気伝導度の傾向から疑われる地表水の流入とは逆で、地表水の流入が減少しているのではないかと思われる。

## まとめ

継続して観測している自噴井の観察状況を叙述した。序でも述べたように、健全な水循環システムを構築するためには、これらのメカニズムの解明が必要である。近年自噴量の増加傾向が見られる。これが、これらの井戸の帯水層からの揚水される水の量が減少したことが原因なのか、それとも他に原因があるのかは不明である。これがこの地域の水循環のシステムの健全性の増加を表すものであると喜ばしい。

しかし、地下水温と電気伝導度の測定からは大きなばらつきが観察されている。一般には地表水の流入が疑われる。これが水循環にとっていい傾向を示すものなのか悪い傾向をしめあうものなのかも一概に判断できない。

pH に関しては、近年増加傾向にあり、測定値のばらつきが減少している。これから一般的に推定されることは、地表水の流入の減少であり、地下水温と電気伝導度の測定値との矛盾が生じてきている。



# 低コスト地下水位観測システムの開発（その4）

## 抵抗式水分レベルセンサの利用可能性に関する考察

三重大学大学院生物資源学専攻  
伊藤 良栄

### 1. はじめに

環境問題としての地盤沈下の長期的モニタリングや水資源利用としての地下水量評価などを行うには、地下水位の観測データが重要である。三重県や東海地方といった広範な範囲を対象とした解析を行うためには多地点の情報が必要である。また、リアルタイムで最新値を取得可能にするには、これらの観測機器がネットワークに接続し、自立的にデータベースサーバに観測データを提供する必要がある。前報において、通信インフラが整備されていない野外での通信経路確保について、同様の問題を抱える農地を対象とした実証実験の結果をもとに、それぞれの通信回線の特徴および利用に際して注意すべき点について整理し、通信コストやサービスエリアの広さなどの観点から検討した結果、携帯データ通信が野外観測における通信回線として有望であることを示した。今年度は、同様に水位変動をモニタリングするための水田水位計の開発を通じて、安価な抵抗式水分レベルセンサが水位観測システムに適用可能かについて検討する。

### 2. 研究の背景

今日、作付け体系の変化や農作業の担い手への集約化により、水需要は多様化している。水管理者の立場から見れば、水資源の管理が従来の供給主導型からエンドユーザ主体の需要主導型へと変化しつつあると言える。一方、エンドユーザである農業者は集約化により耕作面積が拡大するため、従来のようなきめ細かな水管理や見回りが困難になっている。しかし、自分の田んぼに水があるかどうかは気になるので、遠隔からのモニタリングのニーズが高まっている。したがって、水管理者および農業者から水管理作業の省力化、簡素化が求められている。

同様に、現在の利用状況や将来の需給予測を行いながら分散する資源を管理する仕組みとして電力システムのスマートグリッドがある。電力グリッドシステムが適正に運用されるには、各家庭や工場などに設置されるスマートセンサがキーとなる。水田農業におけるスマートセンサが水田メータに相当する。

### 3. 先行研究

#### 3.1 水田メータ

丹治ら(2010)は、渇水の回避や水利費の低減・任意の時間の水利用を可能にするために、水田灌漑スマートグリッドを提案している。スマートグリッドとは、エネルギーの需要と供給の変化をITで把握し、効率的に運用するものである。水田メータは水田灌漑スマートグリッドにおいて、取水量・排水量などを観測し、水田の適切な取水量を決定するために必要である。

#### 3.2 農業センサネットワーク

平藤ら(2013)は、オープンソース・ハードウェアのひとつである Arduino を用い、オープン

ソースのフィールドサーバ (Open-FS) を開発した。さらに、Open-FS を用いて測定したデータを低コストに収集・閲覧・共有するための方法として、既存のクラウドサービス (Twitter 等) と HTML5 で記述した閲覧用ソフトウェアからなる“センサクラウド・システム”を提案している。川北(2013)による XBee を用いた通信実験では、Arduino と JPEG カメラや XBee と組み合わせることで、農業現場でも実用可能な無線通信機能を有した安価なスマートセンサを構築し、1:1 接続で水田地帯において 400m 以上の安定通信を確認している。住友精密と構造計画研究所による大潟村における水田の水位監視サービスの実証実験(2014年6月)では、新たに使用が解放された 920MHz 帯の周波数を使い、途中数か所の中継局を経由しながら水田からインターネットへのゲートウェイまで約 20km 間の通信経路を確保し、湛水深データなどの転送に成功している。

### 3. 3 抵抗式水分レベルセンサ

登尾ら(2013)は、System of Rice Intensification (SRI)農法の最適水管理技術開発のため、タイ国カセサート大学カンペンセン校構内にある水田において Milone Technologies, Inc. 社の水分レベルセンサ eTape を用いて湛水深の計測を行っている。また、溝口(2015)は、愛知県内の水田において同様の装置を用いた計測を実施し、近接する水田でも大きな減水深の違いが現れることを示した。

## 4. 研究の目的

Arduino と JPEG カメラや XBee と組み合わせることで、農業現場でも実用可能な無線通信機能を有した安価なスマートセンサが構築できたので、本報では、これらの要素技術を使いつつ、水管理およびモニタリングのための水田用水位計を開発することを目的とする。

## 5. 水田水位計の要求仕様の検討

設計に当たり、現場のニーズを収集するため、三重県中勢用水土地改良区を対象としたヒアリングを実施した。中勢用水土地改良区は受益面積が 3,183ha と中規模の土地改良区であり、小規模な兼業農家が多く、末端まで開水路区間が存在するブロックが存在する。

改良区職員へのヒアリングから、特に開水路区間では流量の把握ができず、2013 年のような渇水年には支線水路の巡視回数が増えるため、末端水田の取水量を計測し、自動的にデータを管理事務所に転送する機能のニーズが高いことが分かった

また、愛知用水での農家を対象としたヒアリングでは、最低でも自分の水田の湛水状況が確認できる仕組みが必要で、価格は 1 万 5 千円が上限との結果を得た。

## 6. 試作したシステム

今回開発する水田水位計のエンジンと通信回線には、Arduino と XBee を採用した。Arduino はマイコン (Atmel AVR) と少量の部品で構成される安価な組み込みボードである。Arduino ブートローダの採用により、プログラミングの経験が少ない人でも容易にプログラムを作成できる。また各種ライブラリを用いることにより、リアルタイムクロックや JPEG カメラなど様々なモジュールを付与できることも特徴である。



図 4-1 Arduino UNO R3

XBee は無線通信規格 IEEE 802.15.4 の通信プロトコルの一種である ZigBee のモジュールである。2.4GHz 帯の電波を使い、消費電力が少なく、理論上 500m~1.5km の通信距離が見込める。



図 4-2 XBee

水位計測には、Milone Technologies 社の eTape を用いた。この水位センサは、水位に応じて抵抗値が変化するもので、価格も 5 千円程度と安価なのが特徴である。Arduino の Vcc ポートから 5V を供給し、出力電圧をアナログ I/O ポートで計測する。



図 4-3 eTape(<http://www.antratek.nl/etape-liquid-level-sensor-8>)

表 4-1 ノードの構成要素と価格

要素名	価格(円)
Arduino Uno R3	3,000
Arduino ワイヤレス SD シール	3,200
XBee-PRO ZB / U.FL コネクタ	3,300
XBee 用外部アンテナ U.FL コネクタ	600
eTape Liquid Level Sensor 12-inch	5,000
配線部品	450
合計	15,550

## 7. 実験

### 7. 1 水位センサの精度評価

#### (1) 線形性

図 7-1 に示したように水位センサと Arduino を接続し、水を入れたペットボトルに水位センサを固定した。水の量を増減し、水位をデジタルポイントゲージで読み取った。同時に Arduino で電圧値を 1 秒間隔で 100 回計測した。実測結果を図 7-2 に示す。

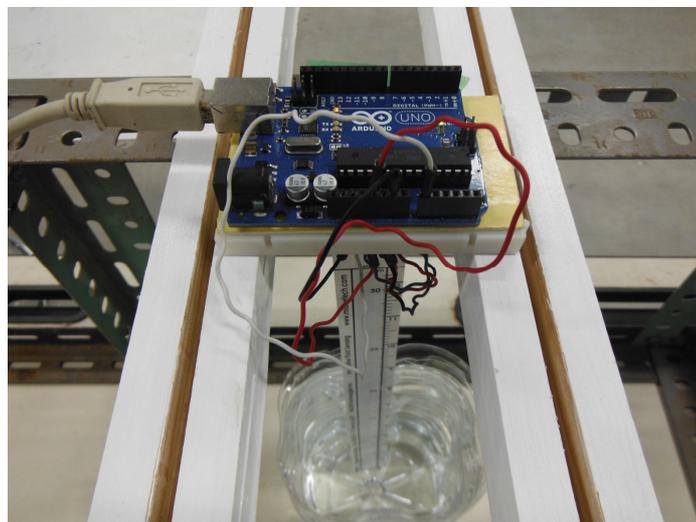


図 7-1 水位センサの検定

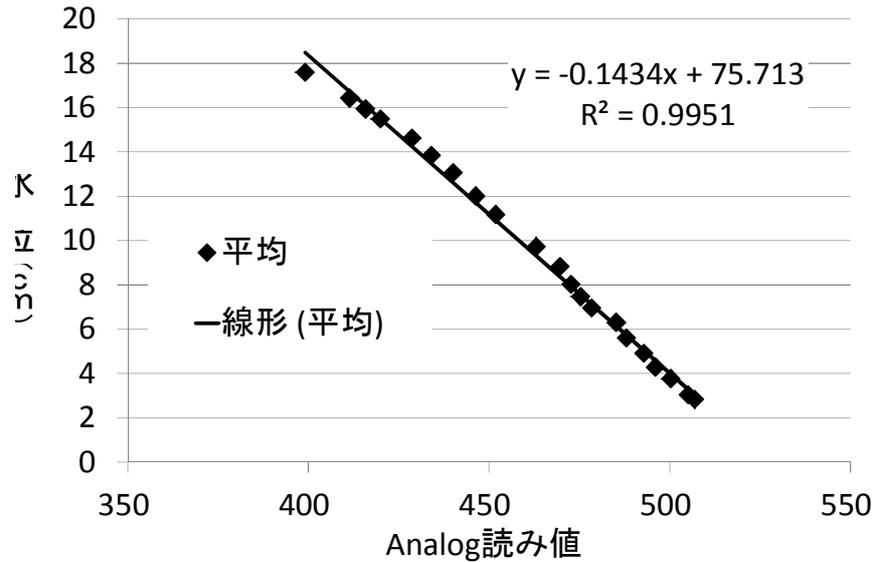


図 7-2 水位センサの検定結果

図 7-2 より、分解能が 1.43mm と高く、電圧値（正確には Arduino の Analog 読み値）と水位の間には良好な線形性があることが確認された。

### (1) 温度依存性

カタログスペック上では、eTape は $-9^{\circ}\text{C}$ ～ $65^{\circ}\text{C}$ の範囲で利用可能である。しかし、カタログには温度依存性に関する情報が記載されていなかったため、7cm、17cm、27cm の 3 つの水深に対して、 $10^{\circ}\text{C}$ ～ $50^{\circ}\text{C}$ まで  $10^{\circ}\text{C}$ 置きに温度依存性を計測した。その結果を図 7-3 に示す。

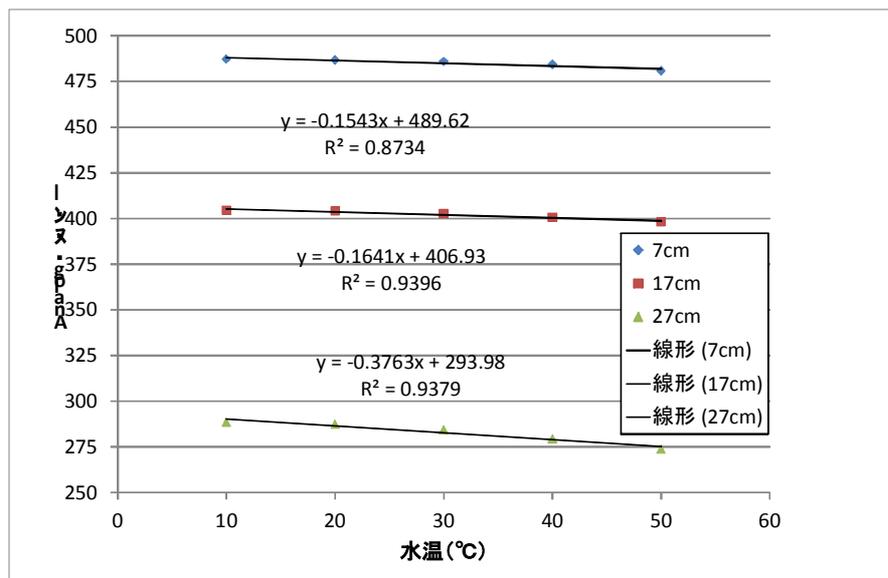


図 7-3 水位センサの温度依存性

図 7-3 より、eTape は同一水深に対して、温度上昇に伴い出力電圧が減少することが分かる。また、水深が大きくなる（つまり、eTape が水面下に没する長さが長くなる）に連れ、温度依存性が高くなっている。実際に現場に設置する際には、温度計も併設して温度補正を行う必要がある。

ろう.

## 8. まとめ

今回試作したモデルは、1ノード約1万5千円と当初の目標価格を達成できた。また、水位計測の分解能も2mm以下と高く、電圧値との線形性も良好であった。ただし、eTapeには温度依存性が確認されたので、実際に現場に設置する際には、温度計を併設した温度補正を行う必要があることが示唆された。

今回のシステムでは電源をノートパソコンのUSBポートから供給した。今後は、ソーラーパネルなどを利用した自立運転が課題である。さらに、実際に携帯データ通信回線を利用した観測システムを構築し、運用試験を通じて、商用電源に頼らない省電力対応等の残された問題を解決しながら、最終的には地下水位計測に向けてシステムの改良を進めていきたい。

研究題目：地下水に関わる諸量の確率的予測に関する研究

研究担当者：葛葉泰久

## A. 計画

年度当初に提出した研究計画は以下のようなものであった。

研究題目：地下水に関わる諸量の確率的予測に関する研究

研究内容：

当該地域の地下水の定量的・定性的な諸量時系列データを取得したのち、それを解析し、時系列モデルを作成する。ただし、これは決定論的な予測モデルではなく、確率的なモデルであり、モンテカルロシミュレーション等に用いることを想定している。モデルの基本となるのは、ブラウンモーション、非整数ブラウンモーション、非整数レヴィモーションなどである。決定論的モデルではないが、モンテカルロシミュレーションにより、将来的に起こりうる、変動のシナリオを作成することが可能である。

## B. 研究実績

### (1) データ

使用したデータは地下水位整理表の「地下水位調査井名：大福」の、平成7,8,9年の地下水位データ（午前6時）である。つまり、365個の時系列3つ分である。

### (2) モデル

モノフラクタルモデル（非整数ブラウンモーションと非整数レヴィモーションを想定した）を当てはめた。以下、手法と結果について解説する。

---

## 1. 手法

今、モノフラクタルモデルを用いて生成する時系列を $Y_t$ とする。これを生成させるためには、ホワイトノイズ時系列 $X_t$ を生成させ、あるフィルターを通過させればよい。ここで、シミュレーションを行う際に必要なのが、

### 1) ホワイトノイズの性質

- 2) フィルター（フラクタルフィルター）を規定するパラメータである。  
 ここまでの手順を示したのが次式(1)である。

$$Y_t \propto \sum_{s=1}^N \omega^{-\nu/2} F_\omega[X_t] \exp[2\pi i(t-1)(s-1)/N] \quad (1)$$

ここで $N$ は生成させる時系列のデータ数であり、 $F_\omega[\cdot]$ はフーリエ変換を表している。フラクタルフィルターのパラメータ（スケーリング指数） $\nu$ は、ターゲットとする時系列データから求める。つまり、観測データを $Y_t$ とすると、次式(2)のように、それをフーリエ変換し、パワースペクトルを求める。

$$P(\omega) = |F_\omega[Y_t]|^2 \propto \omega^{-\nu} \quad (2)$$

ここで、 $Y_t$ がフラクタルモデルで表現可能な場合には、式(2)が成立する。つまり、角振動数 $\omega$  vs. パワースペクトル $P(\omega)$ がlog-log linearな関係にあれば、 $Y_t$ はフラクタルモデルで表現でき、なおかつ式(2)を用いてスケーリング指数を求めることができる。

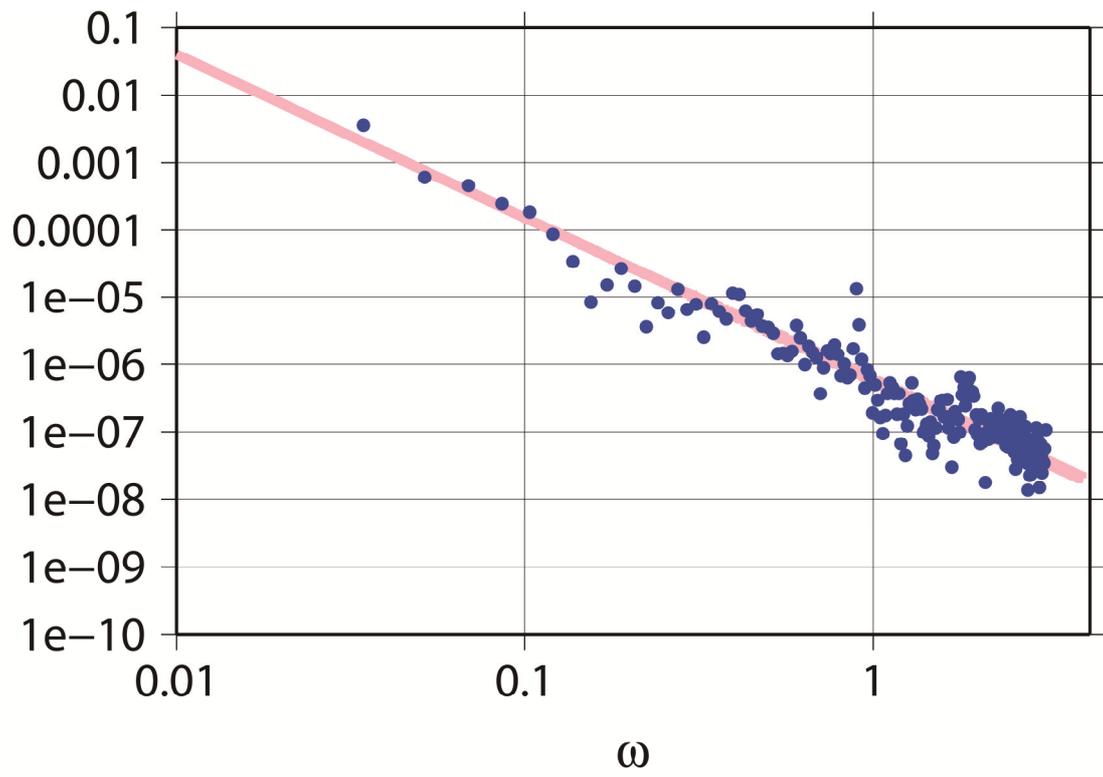
次に、上述1)の「ホワイトノイズの性質」であるが、これを求めるためには、式(1)を変形した次式(3)を用いる。

$$X_t \propto F_t^{-1}[F_\omega[Y_t] \times \omega^{\nu/2}] \quad (3)$$

つまり、式(1)では、ホワイトノイズ（乱数）時系列を生成させて、 $Y_t$ を生成させるのであるが、式(3)では逆に、観測した時系列データをに代入することにより、 $X_t$ を求め、その性質を調べるのである。

## 2. 解析結果

図は、大福の3年分の地下水位データにより作成した角振動数 $\omega$  vs. パワースペクトル $P(\omega)$ の関係図である。Log-log linearな関係であることが分かる。これから、地下水位はモノフラクタルモデルで表現可能であることが分かった。なお、 $\nu$ の値は2.42であり、また、式(3)により生成した $X_t$ はGauss分布に従うことが分かった。以上より、地下水位データは非整数ブラウンモーションで表現可能であることが分かった。つまり、地下水位の時系列はランダムウォーク的に変動することが分かった。



図： 地下水位時系列データの各振動数とパワーの関係