

# 北勢地方の自噴井観測

平成28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、本年度で25年間調査を続けている。しかし残念ながら2009年度までに、様々な理由から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。

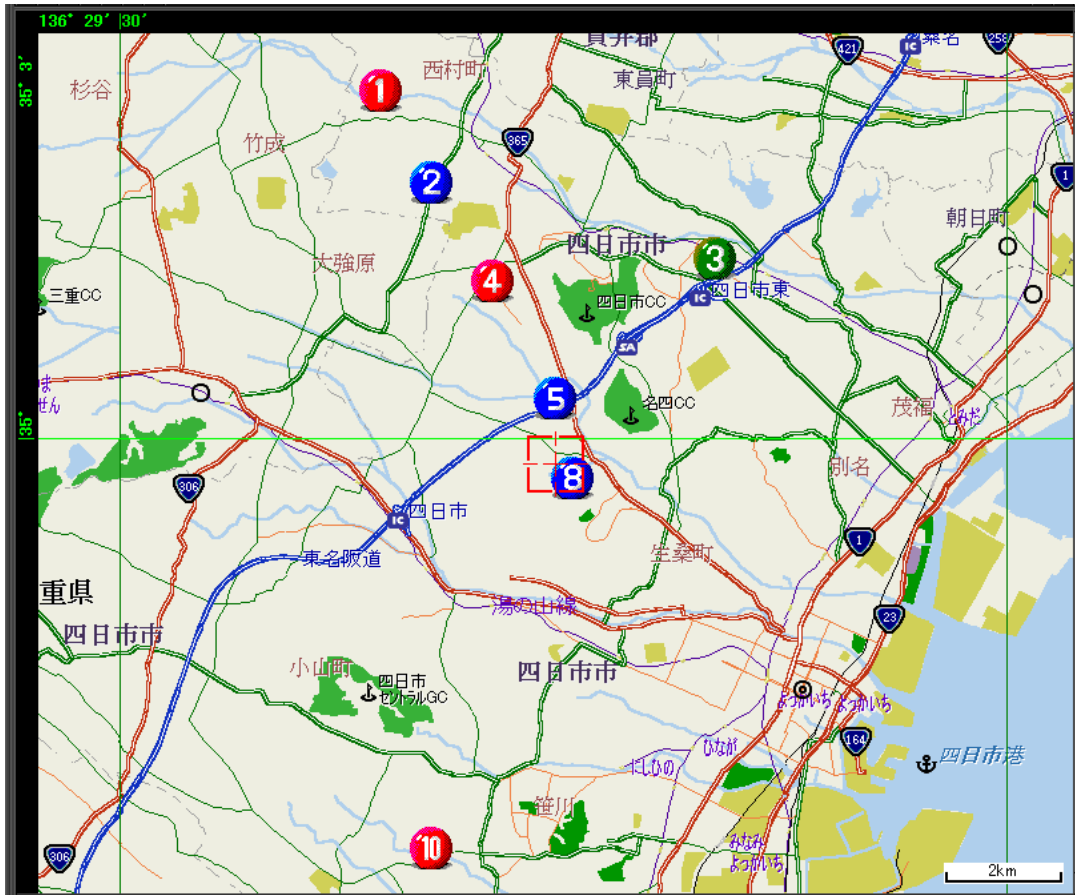


图 1 測定自噴井位置

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 2016 年 1 月までの自噴量の変化を示す。

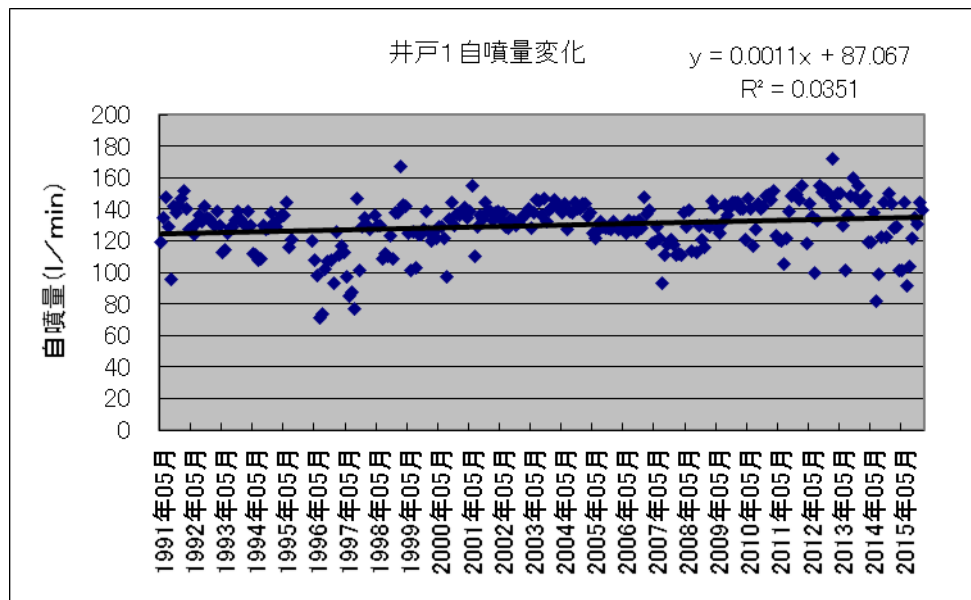


図 2-1 自噴井 1 の自噴量変化

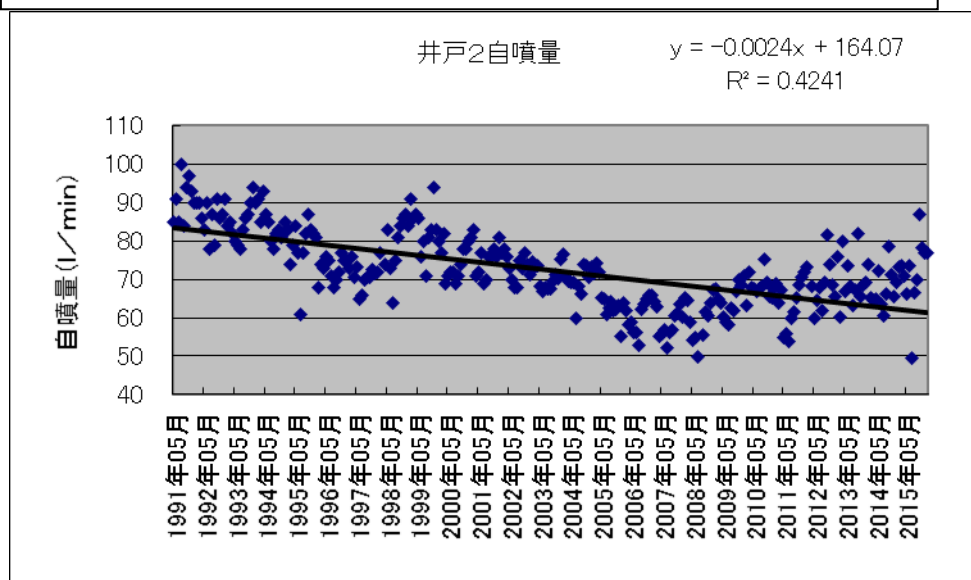


図 2-2 自噴井 2 の自噴量変化

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

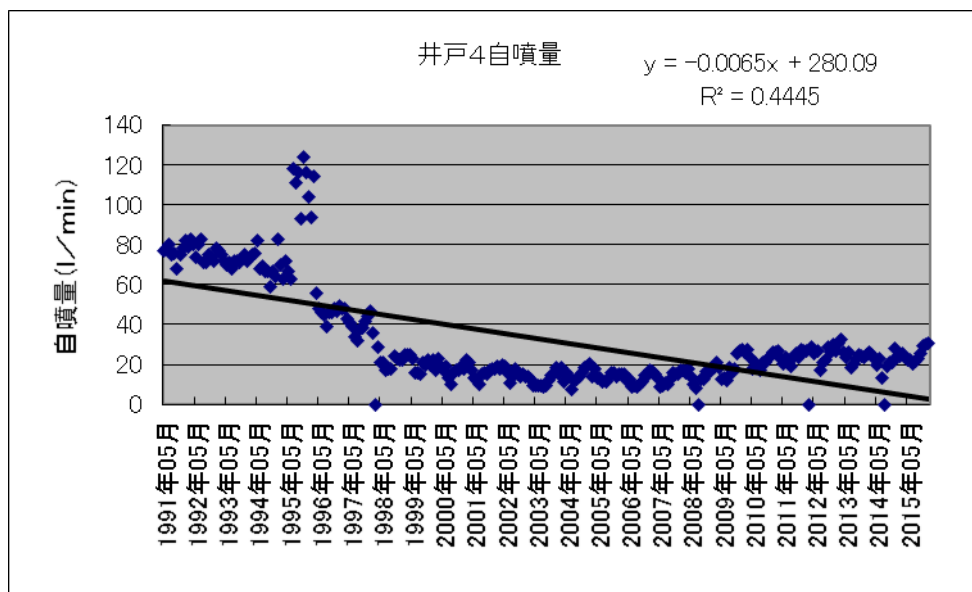


図 2-4 自噴井 4 の自噴量変化

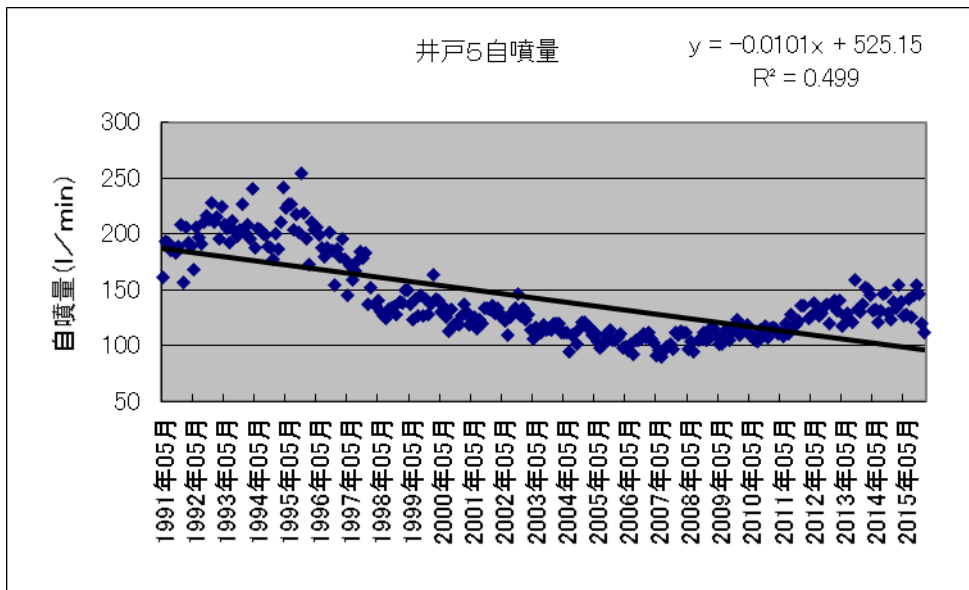


図 2-5 自噴井 5 の自噴量変化

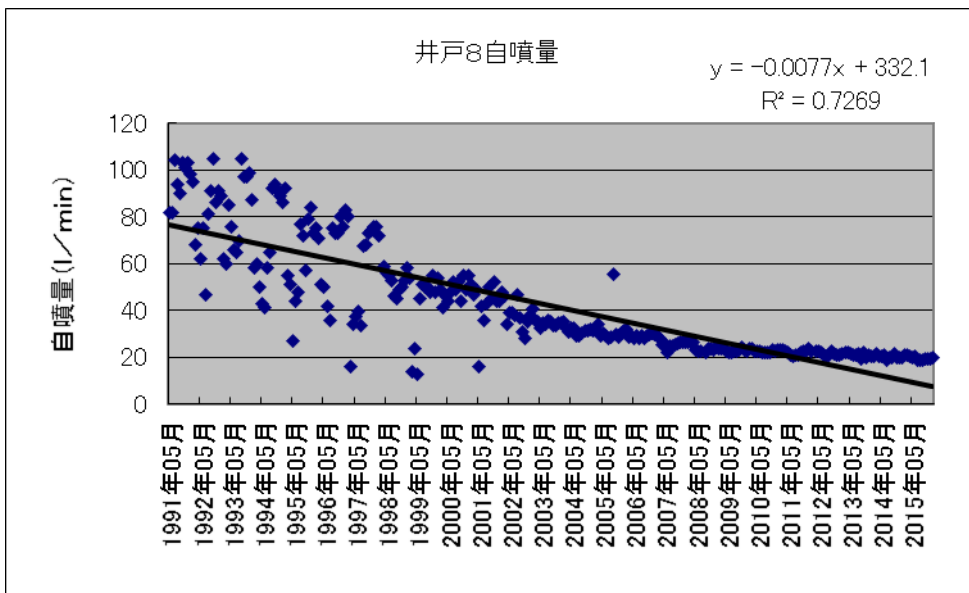


図 2-6 自噴井 8 の自噴量変化

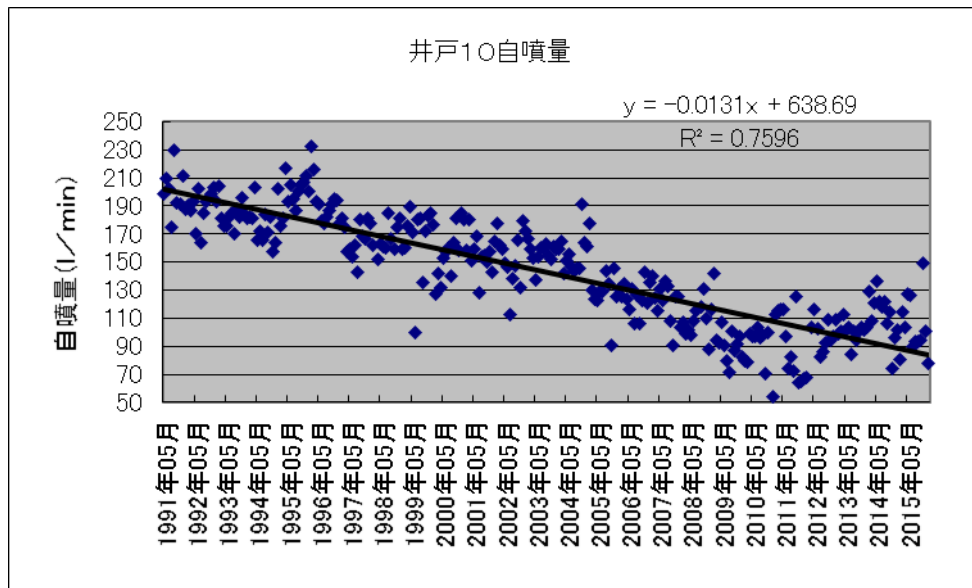


図 2-7 自噴井 10 の自噴量変化

1991 年から見ると、各井戸の自噴量は、比較的大きな相関で減少傾向にある。しかし、2006 年頃から増加傾向にあるように見える。



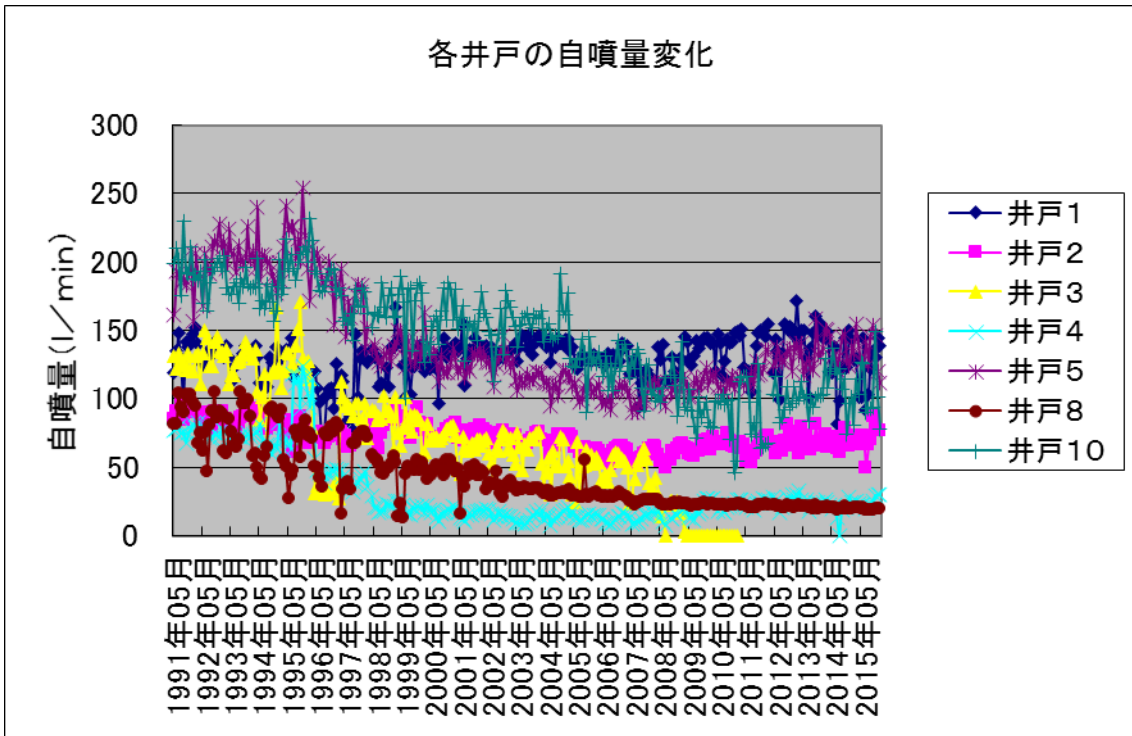


図 2-8 各井戸の自噴量変化

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、1991 年から見ると減少傾向にある。しかし、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、これは一般的に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 年度から始めている。

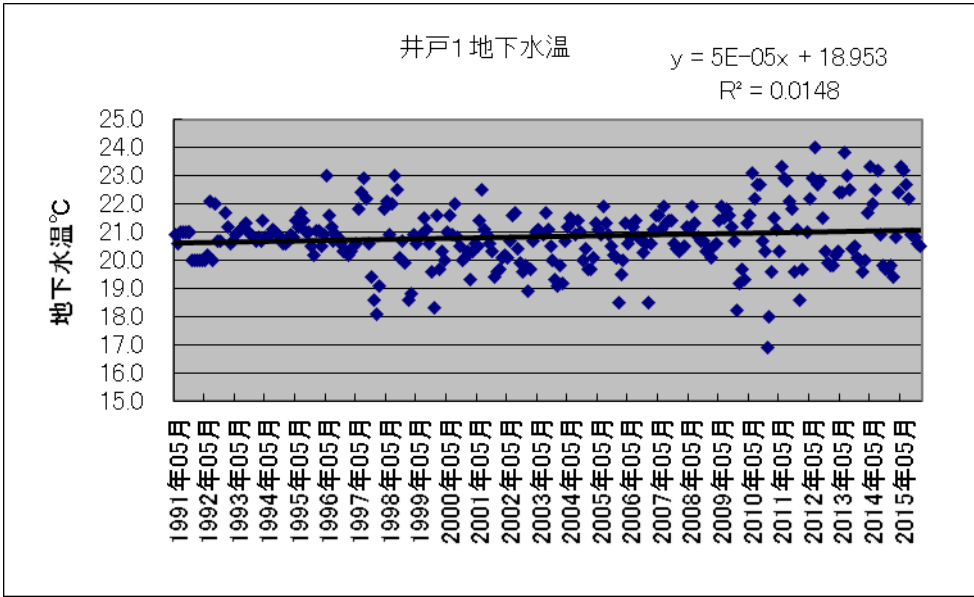


図 2-9 自噴井 1 の地下水温

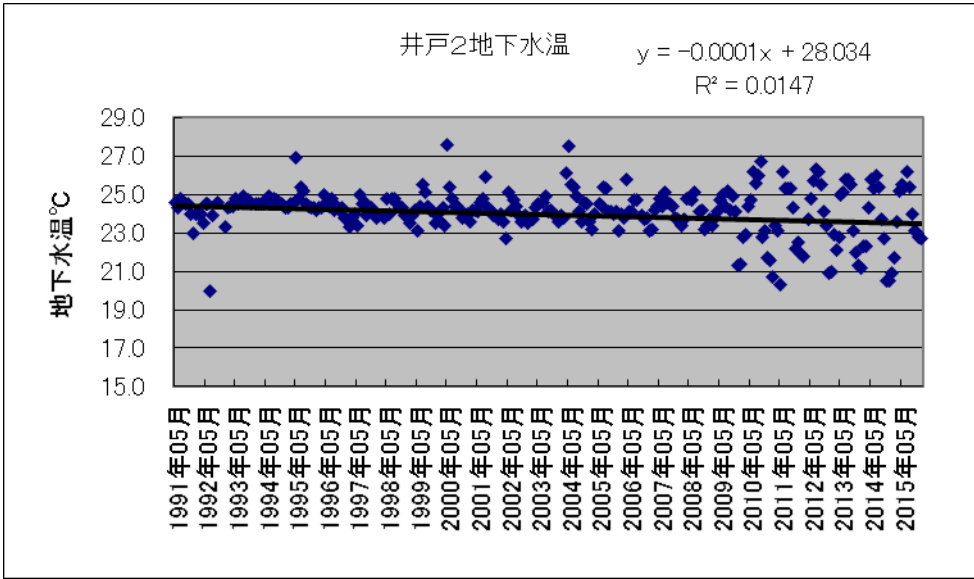


図 2-10 自噴井 2 の地下水温

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

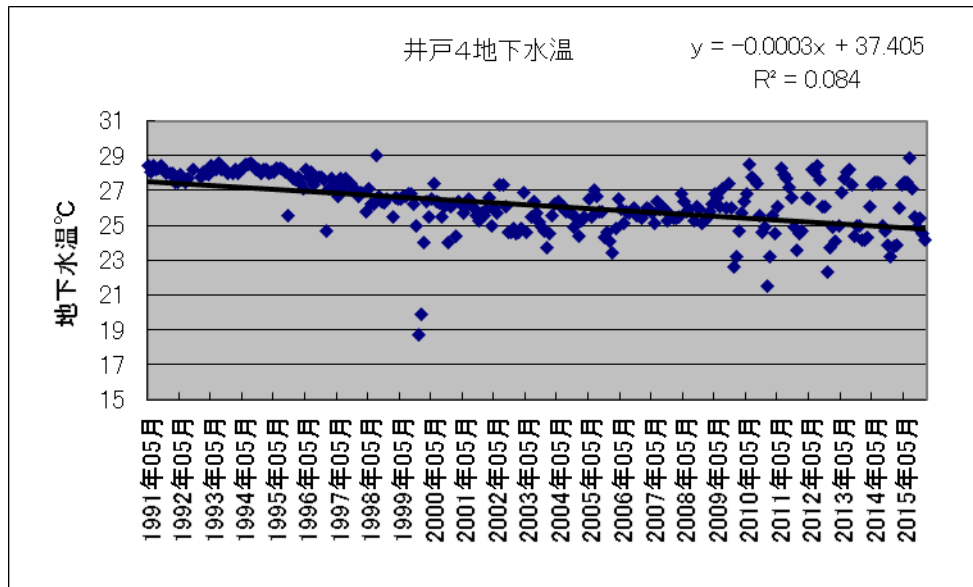


図 2-12 自噴井 4 の地下水温

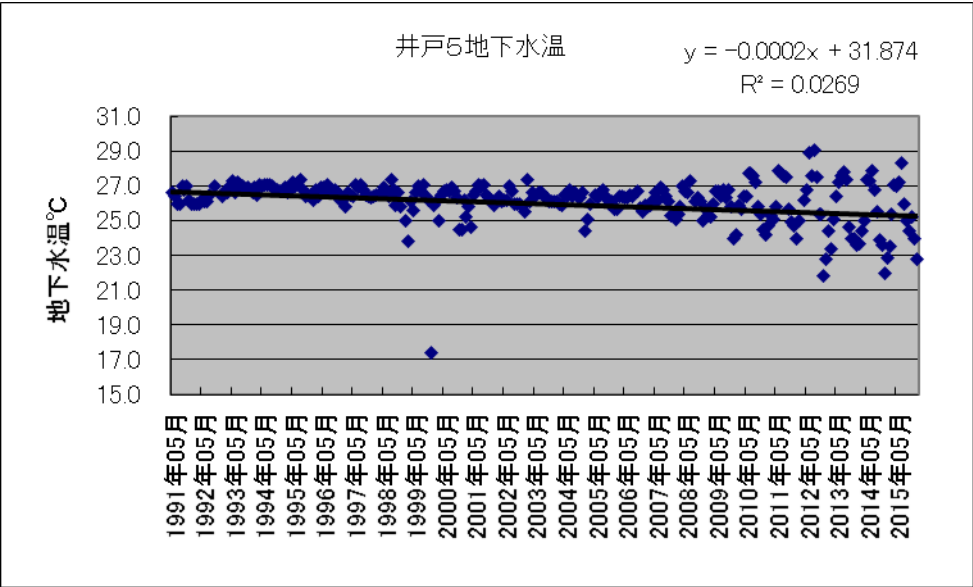


図 2-13 自噴井 5 の地下水温

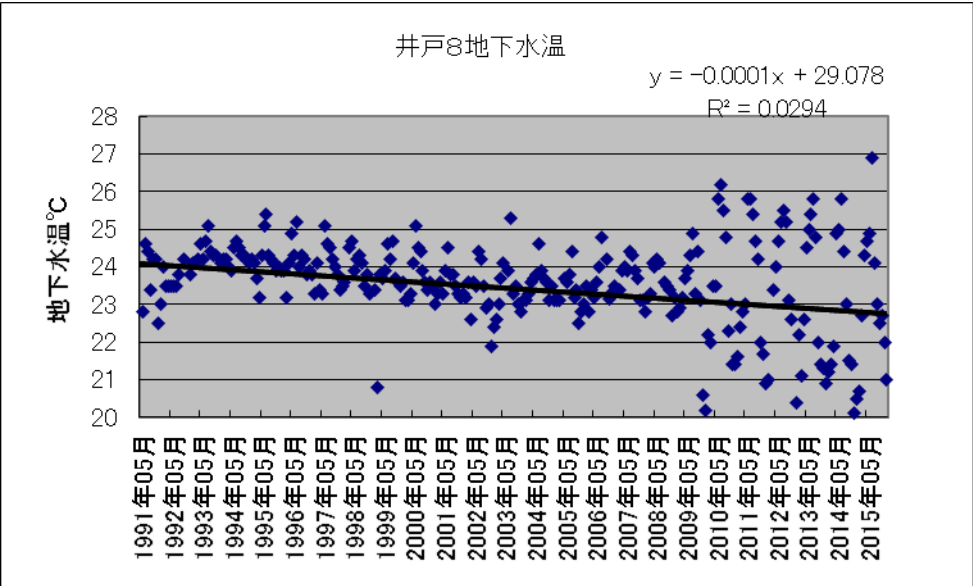


図 2-14 自噴井 8 の地下水温

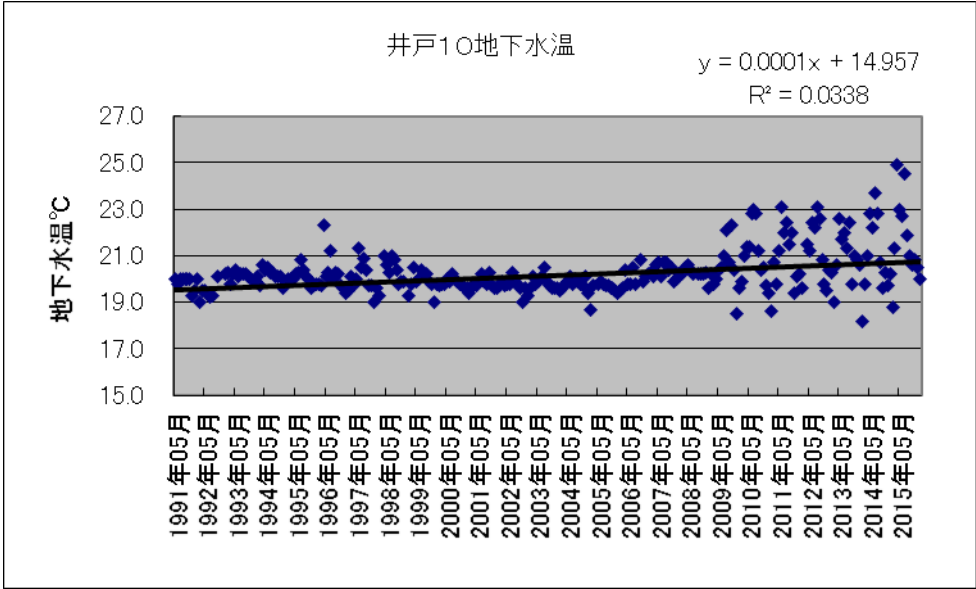


図 2-15 自噴井 10 の地下水温

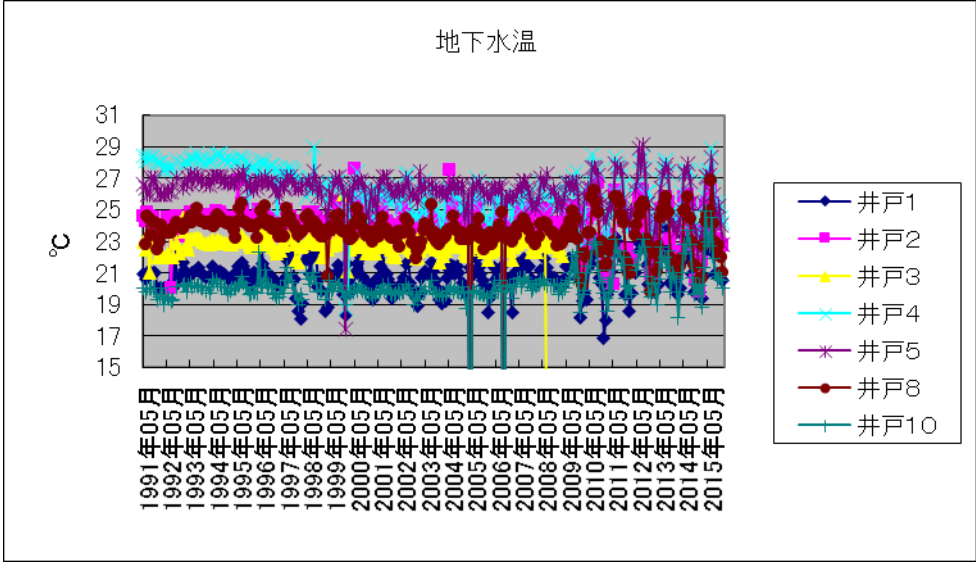


図 2-16 各井戸の地下水温変化

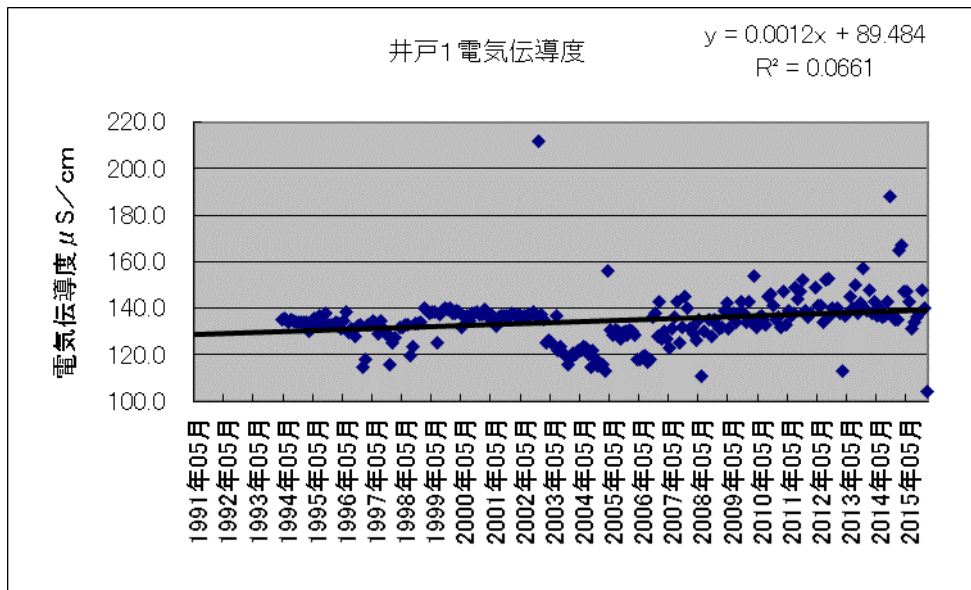


図 2-17 自噴井 1 の電気伝導度

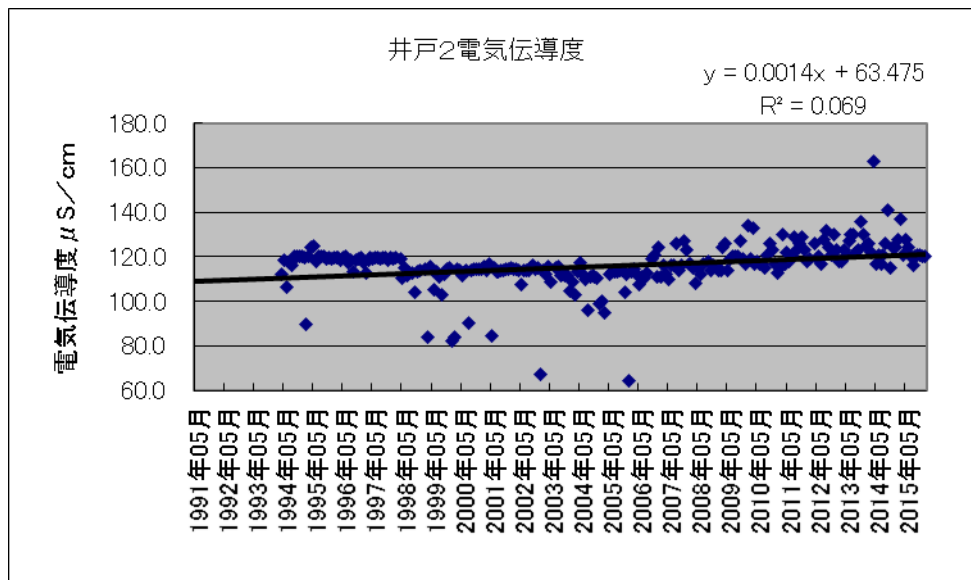


図 2-18 自噴井 2 の電気伝導度

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

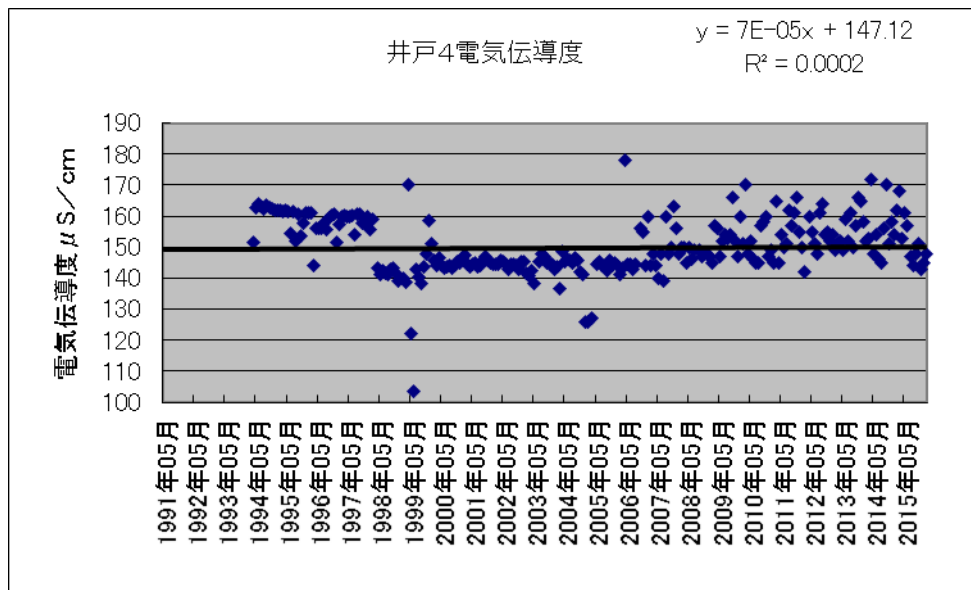


図 2-20 自噴井 4 の電気伝導度

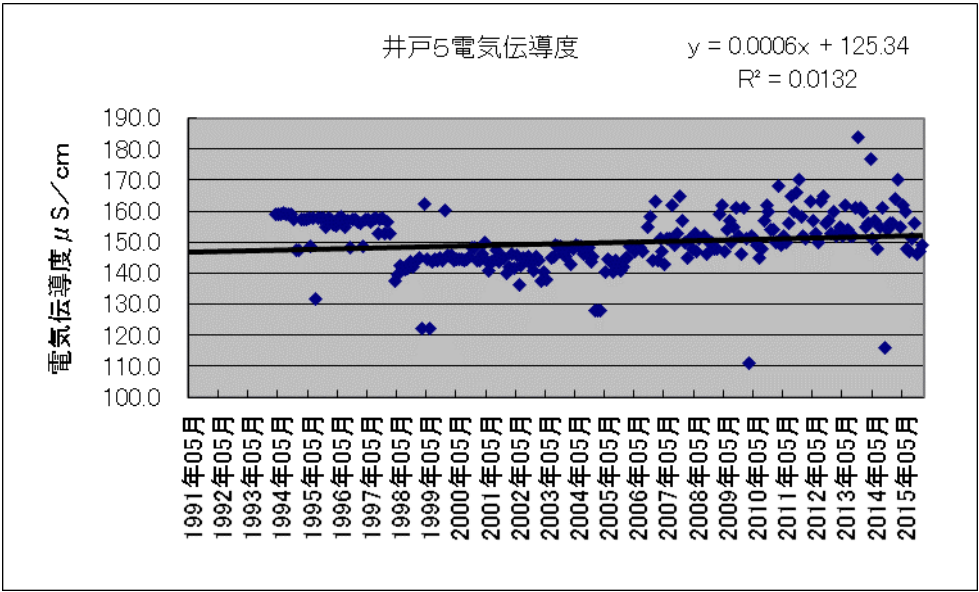


図 2-21 自噴井 5 の電気伝導度

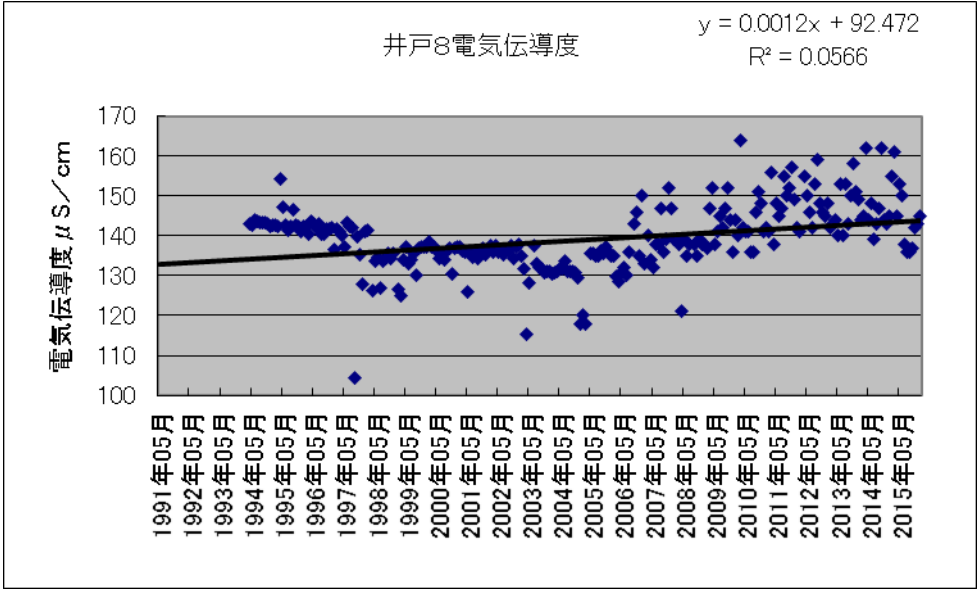


図 2-22 自噴井 8 の電気伝導度



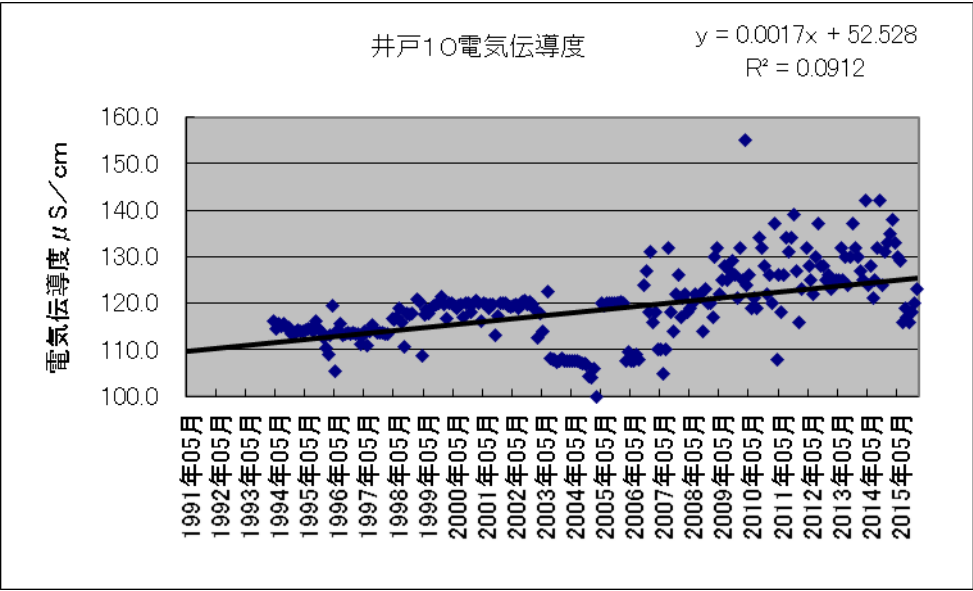


図 2-23 自噴井 10 の電気伝導度

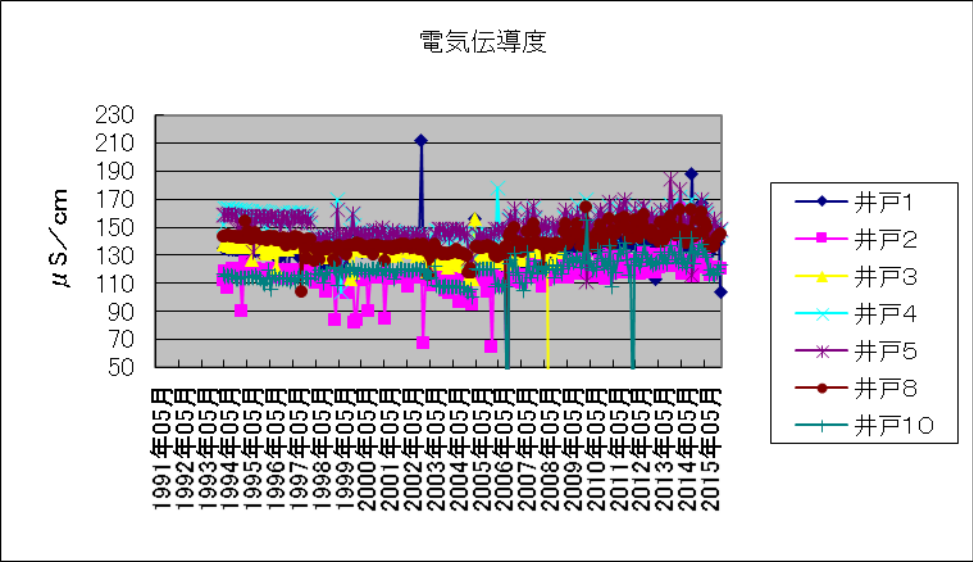


図 2-24 各井戸の電気伝導度変化

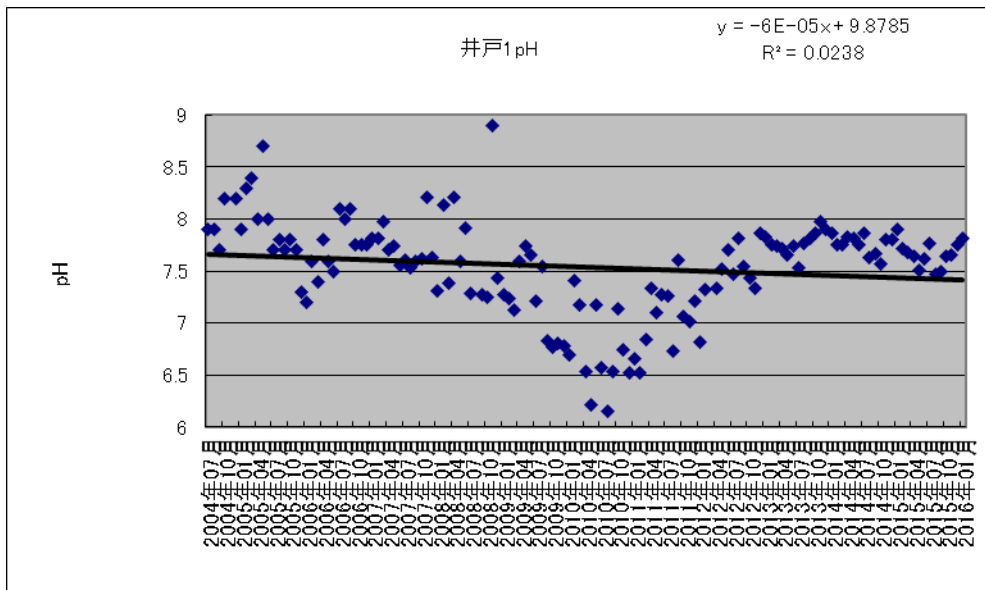


図 2-25 自噴井 1 の p H

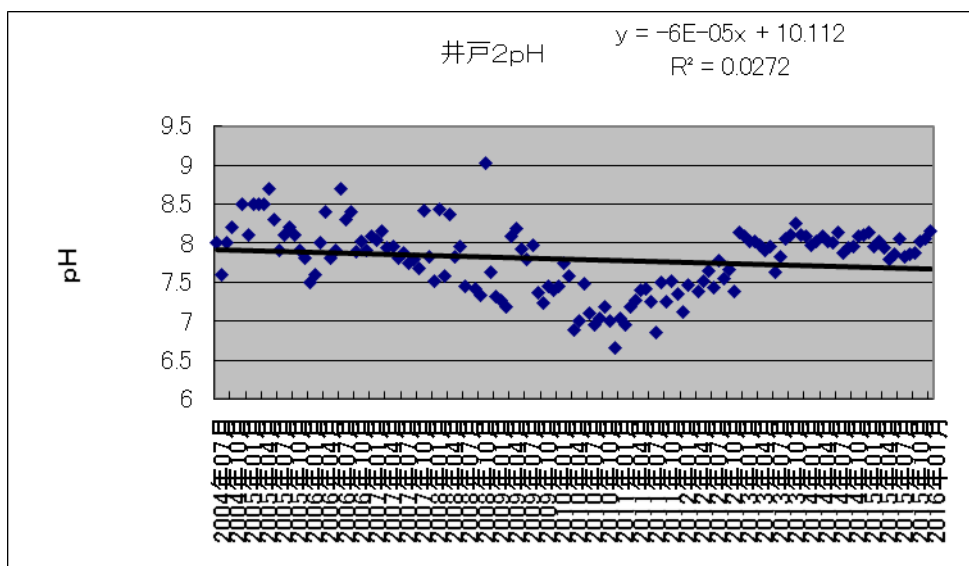


図 2-26 自噴井 2 の p H

2009 年度から計測出来なくなった。

図 2-27 自噴井 3 の pH

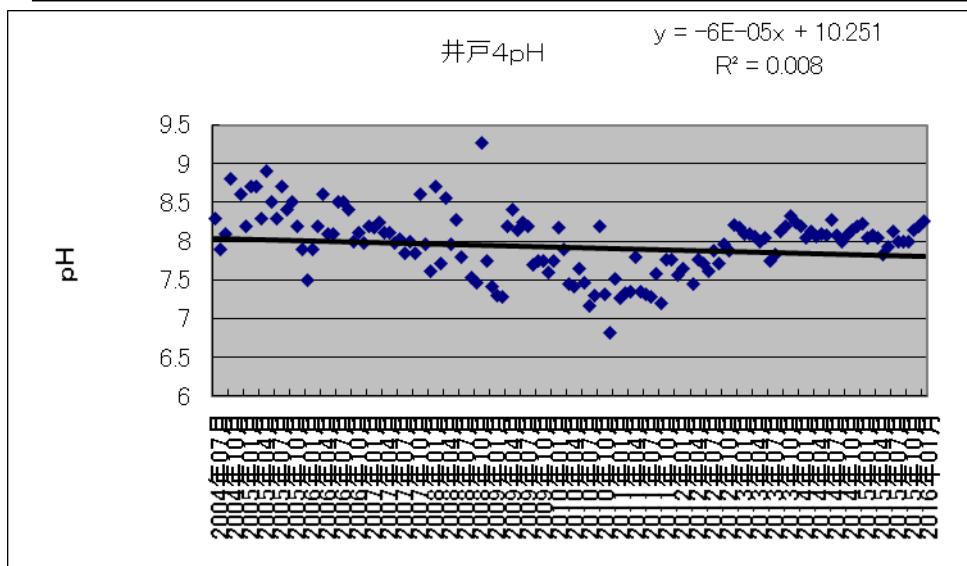


図 2-28 自噴井 4 の pH

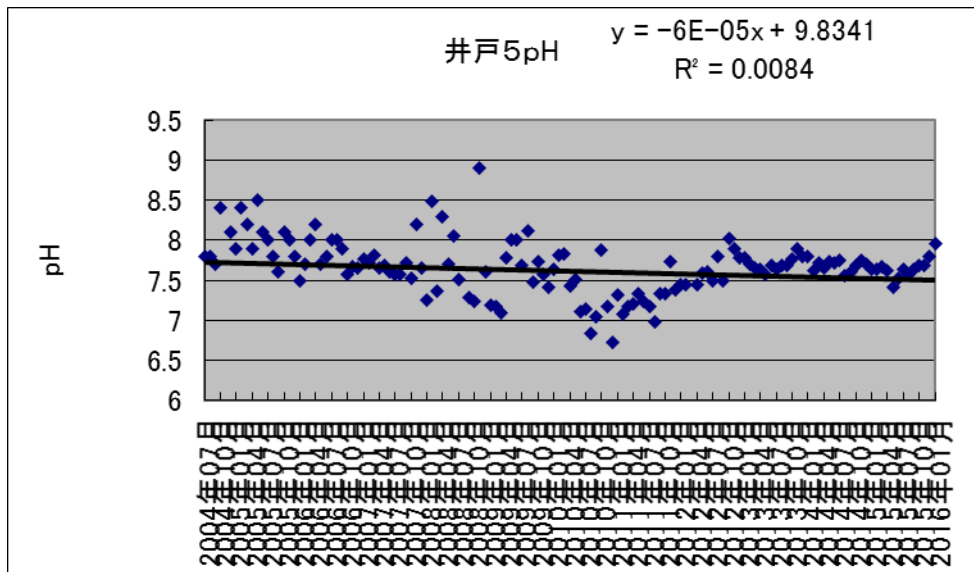


図 2-29 自噴井 5 の pH

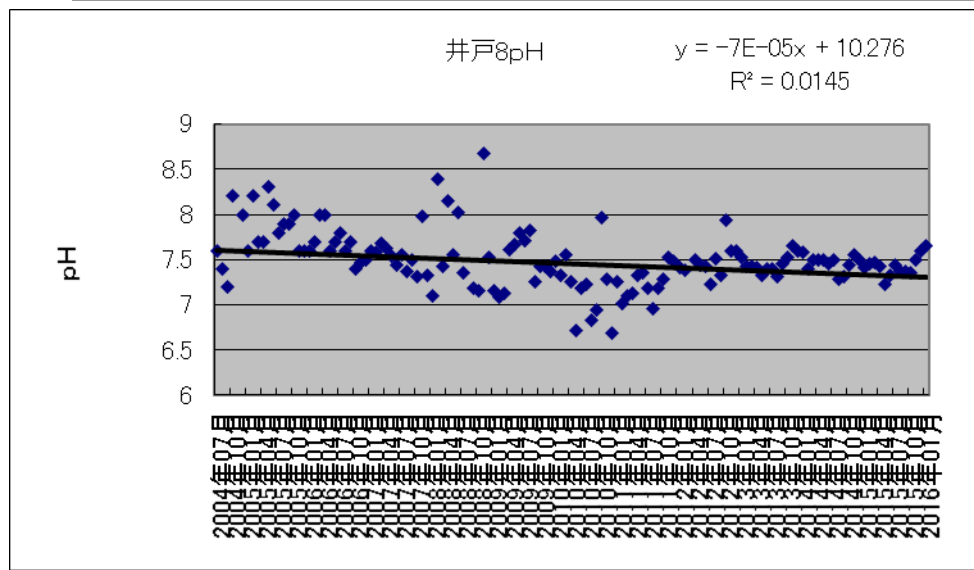


図 2-30 自噴井 8 の pH

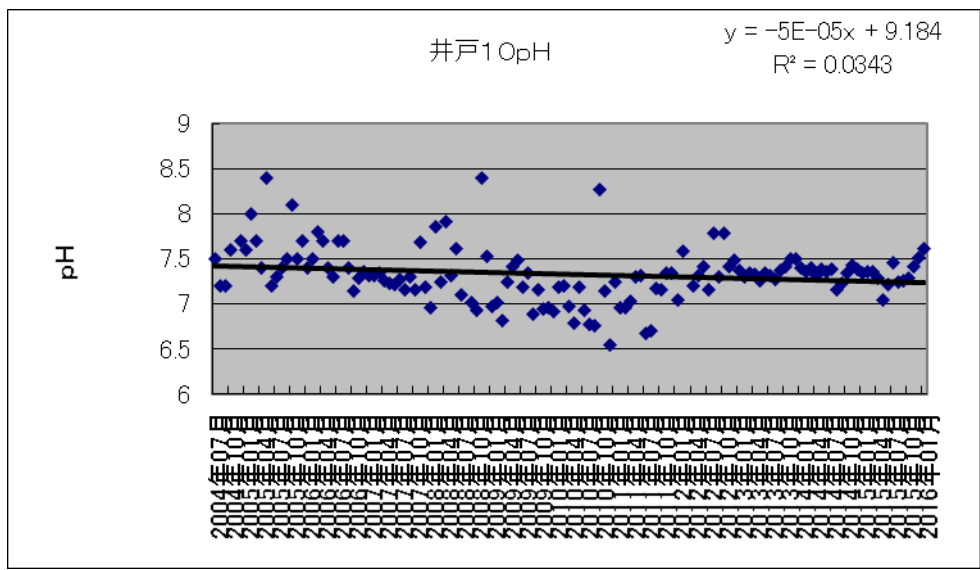


図 2-31 自噴井 10 の pH

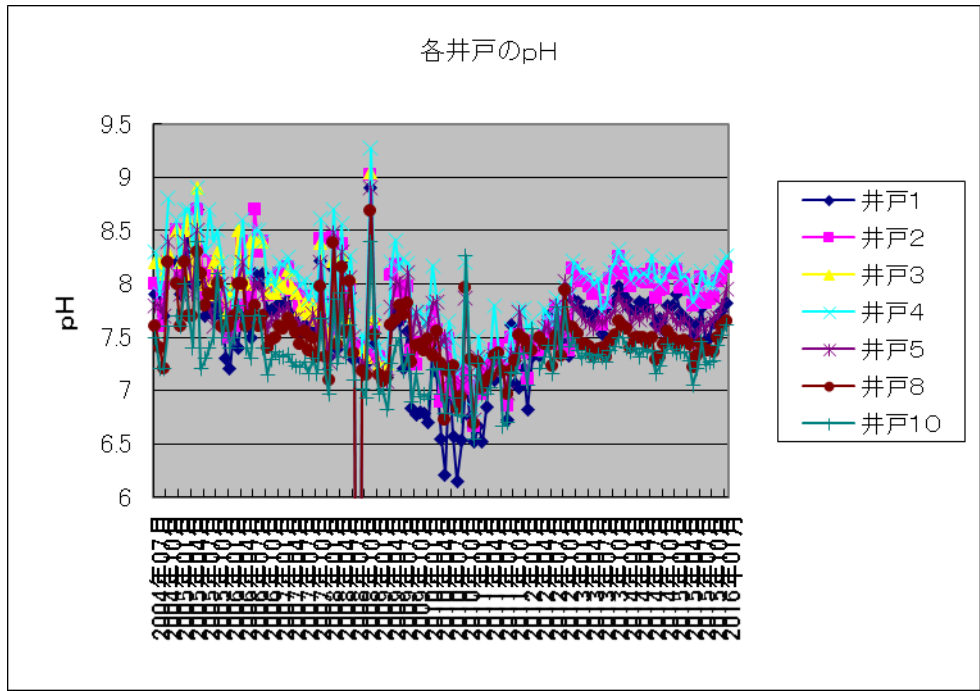


図 2-32 各井戸の pH 変化

地下水温に関しては、長期的には安定しているように思われる。ただし、近年はばらつきが大きくなっている。

電気伝導度に関しても、長期的には安定している。しかし、相関は低いがやや増加傾向を示す井戸が多く、地下水温と同様にばらつきが大きくなってきている。

pHに関しても、長期的には安定している。相関は低いが、アルカリ性から中性に近づいている傾向が見られる。

### 3. 考察

25年間継続して観測している自噴井の観察状況を叙述した。これらのデータは、北勢地方の健全な地盤環境の監視には重要である。観測開始から2006年頃まで続いていた自噴量の減少が、近年増加傾向に変化しつつあることは、一般的には喜ばしいことである。

しかし、地下水温のばらつきの増加からは地表水の影響が考えられ、またpHの中性への接近はアルカリ度の減少を推定させ、これも地表水の影響が考えられる。電気伝導度の増加の原因を推定するのは難しいが、ばらつきの増加は、これも地表水の影響が考えられる。

観測している自噴井の深度は表1に示すように大きい。一般に、この深い地下水の賦存量が増加したことによって、自噴量が増加したのであれば、地下水温は安定し、pHはアルカリ性を維持し、電気伝導度も安定すると思われる。

したがって単純に、近年の自噴量の増加傾向が、地下水涵養源の回復を意味し、健全な地下水循環が構築されてきていることを示すとは言えない。今後も監視が必要であると思われる。

# 表面被覆の変化が地下水に与える影響について（その1）

## 表面被覆が芝生および灌木の場合（変化前）

三重大学大学院生物資源学専攻  
伊藤 良栄

### 1. はじめに

三重大学上浜キャンパス内には浅井戸があり、農業土木学系学生対象に開講される「水理実験」で永らく「揚水試験」の実験が行われてきた。井戸の周りは芝生が植えられ、10本程度の植木もある。この場所が某教員の資料保管用コンテナ置き場となることが決まり、2016年初めから基礎工事が始まった。植木は伐採され、浅井戸周辺はコンクリートで覆われることになる。そこで、今年度と来年度にわたり表面被覆の変化が地下水に与える影響を調査する。

### 2. 用いたデータ

残念ながらこの浅井戸の水位変化を長期的に観測したデータはない。前述の「水理実験」では前期と後期にそれぞれ2班ずつが「揚水試験」を行っているので、年間に4回分の揚水試験データがある。今回は過去2年分のデータを用いた。

### 3. 揚水試験の概要

#### 3.1 浅井戸および地下水揚水の理論

井戸の揚水試験は帯水層の水理学的定数（透水係数、貯留係数など）を求めるものである。透水係数の測定法にはいろいろあるが、現地の平均的な透水係数を求める方法として、もっとも信頼することのできる方法である。貯留係数は揚水試験を行う以外には求める方法がない。

#### (1) 試験井および試験の方法

試験井としては深井戸（さく井を含む）と浅井戸があり、試験の方法としては、揚水量および井水位が一定に達し定常状態における数値を測定する方法と、井水変動が進行しているままの非定常状態における数値測定によって試験を行う方法がある。それぞれ特徴と欠点があるが、平野部、特に伏流水の多い河川に接近して掘削する井戸、集水暗渠などの場合は浅井戸による場合が多い。

#### (2) 浅井戸における水位低下式

Forchheimerの浅井戸における非平衡式は、以下のようになる。

$$y_0 = \frac{Q}{4rk} \left( 1 - e^{-\frac{t}{n}} \right) \quad (1)$$

ここで、 $y_0$ :地下水面を基準とする水位低下量、 $Q$ :揚水量、 $r$ :井戸の半径、 $k$ :透水係数、 $t$ :時間、 $n = \frac{\pi r^2}{4k}$ 。

ただし、 $n = \frac{\pi r^2}{4k}$ において、 $t \rightarrow \infty$ にすると、

$$Y = \frac{Q}{4rk} \quad (2)$$



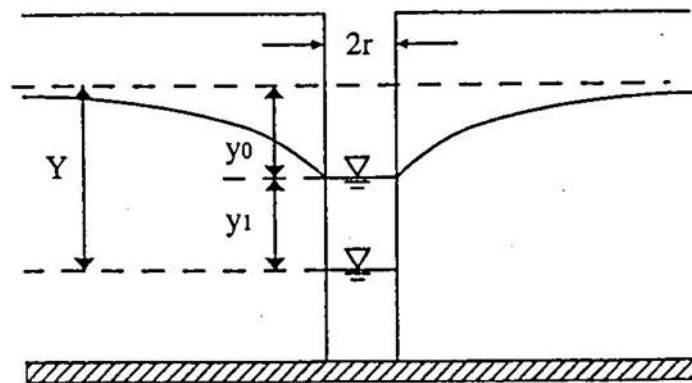


Fig. 1 水位低下式

(3) 浅井戸における水位回復式

$y_1 = Ye^{-\frac{t_1}{n}}$	(3)
-----------------------------	-----

ただし、 $n = \frac{\pi r^2}{4k}$

$y_1 = Y - h_1$ から $y_2 = Y - h_2$ までに水位を回復するのに  
必要な時間を $t^*$  ( $t^* = t_2 - t_1$ )とすれば

$$k = \frac{\pi r^2}{4t^*} \log_e \frac{y_1}{y_2} \dots \quad \text{もしくは} \quad k = \frac{2.3\pi r^2}{4t^*} \log_{10} \frac{y_1}{y_2} \dots$$

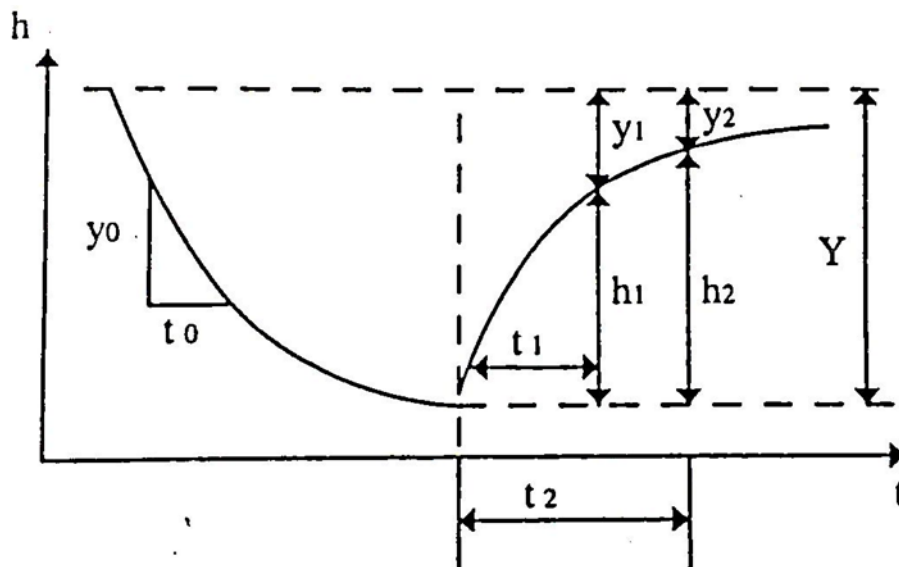


Fig. 2 水位回復式

これらによって浸透係数 K は決定できる。

3. 2 実験方法

揚水量の測定者，時計係，水位観測係の 3 組に分かれ，他に水温の測定を実験中に行う。まずポンプを始動し，揚水準備をする。揚水と同時に流量計の読みを記録する。時計係はその時ストップウォッチを動かす。水位測定係はその前に最初の井内水位を測定しておく。初めは 1 分毎に

測定を行い、時計係の合図にしたがって、流量、水位、水温を測定する。

10分経過したら、測定を5分毎とする。30分後からは10分毎に測定を行う。以下、適宜の時間毎に測定して、井内水位が一定に達するまで測定を継続する。井内水位が一定に達したならば、時計係の合図によってポンプの運転を停止する。

以下、水位回復曲線の観測を行うが、最初は1分毎に水位上昇を測定し、逐次5分毎、10分毎に記録を取り、元の地下水水位まで回復させる。

### 3.3 透水係数の算定

水位低下および水位回復ステージにおける水位データおよび流量データから、それぞれのステージにおける透水係数が求められる。

水位低下式は(1)式で与えられるが、揚水量  $Q$  を一定として実測データの平均値を採用する。透水係数  $k$  を変化させて、 $\chi^2$ 誤差が最小となる値を採用する。

揚水を停止した水位を  $Y$  として採用すると、実際には揚水量  $Q$  に対応する収束水位に達していない可能性がある。上で水位低下ステージでの透水係数  $k$  が求められたので、(2)式より  $Y$  の値が計算できる。この値と水位回復実験を始めた時の水位  $y_1$  として(3)式に代入し、水位が  $Y$  から  $y_1$  に達するのに要する時間  $\Delta t$  を求めて、水位回復式(3)の時間  $t$  に  $\Delta t$  を加えた値を経過時間として採用する。最後に水位低下ステージ同様、透水係数  $k$  を変化させて、 $\chi^2$ 誤差が最小となる値を採用する。

## 4. 観測結果

### 4.1 2014年

観測は、5月16日、5月23日、10月21日、10月28日に行われた。

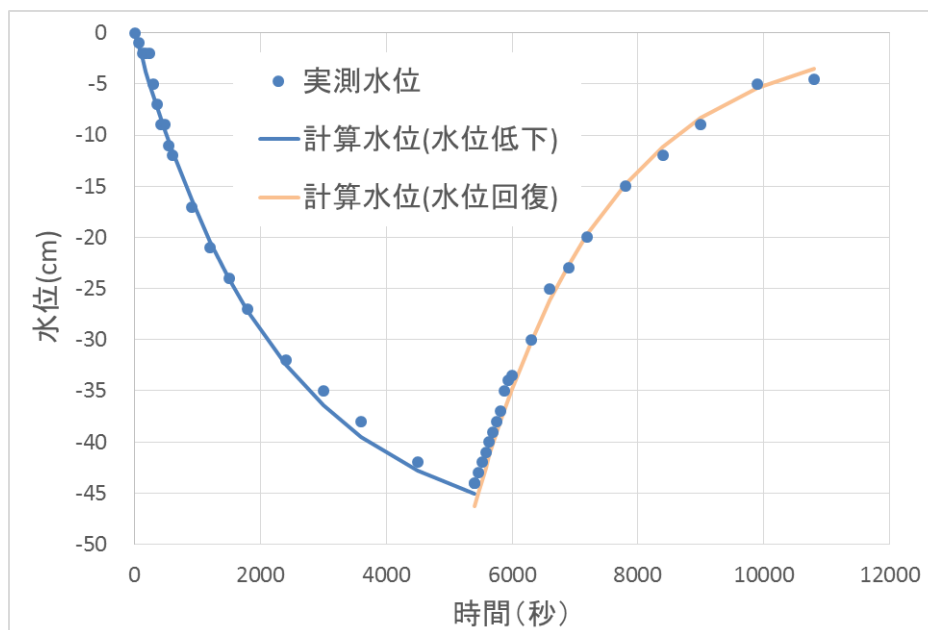
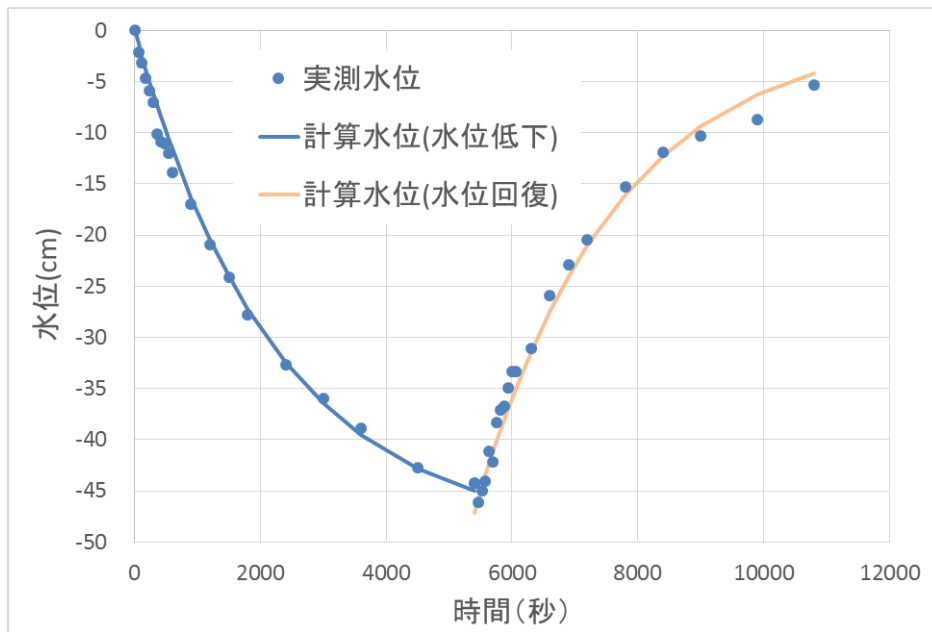


Fig. 3 2014年5月16日の観測

水位低下時の透水係数：0.0173(cm/s)

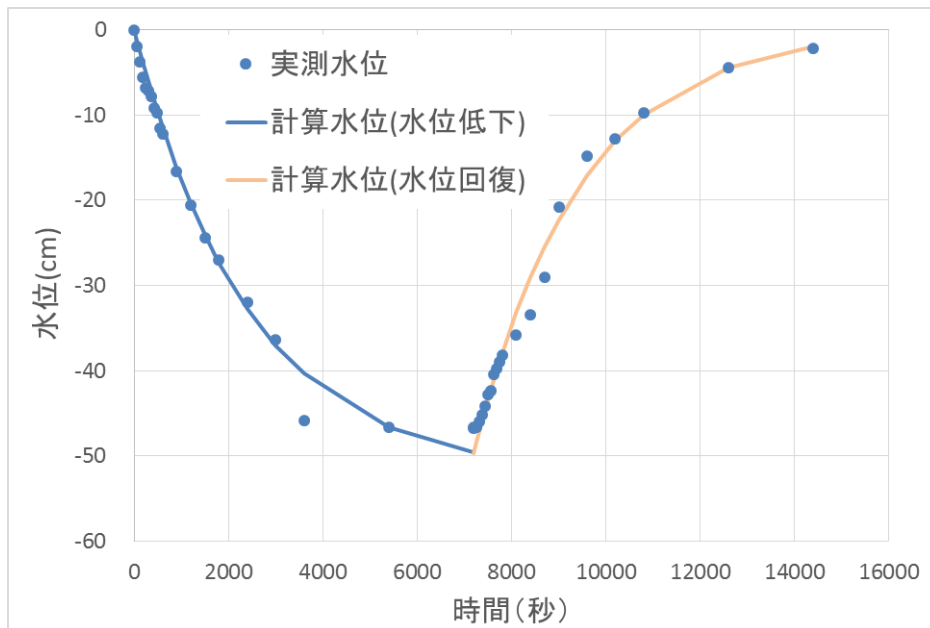
水位回復時の透水係数：0.0187 (cm/s)



**Fig. 4 2014年5月23日の観測**

水位低下時の透水係数 : 0.0174 (cm/s)

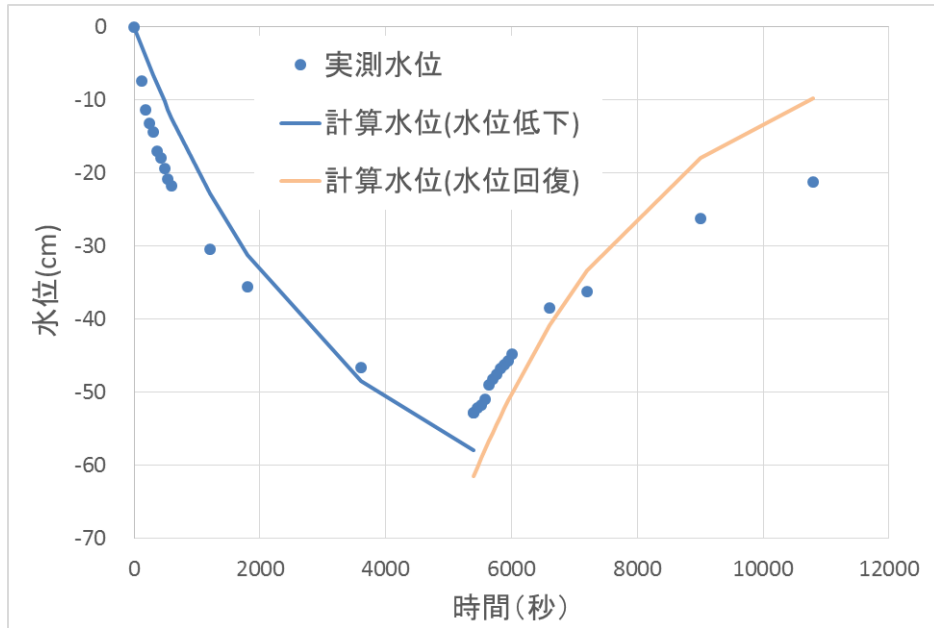
水位回復時の透水係数 : 0.0176 (cm/s)



**Fig. 5 2014年10月21日の観測**

水位低下時の透水係数 : 0.0161 (cm/s)

水位回復時の透水係数 : 0.0175 (cm/s)



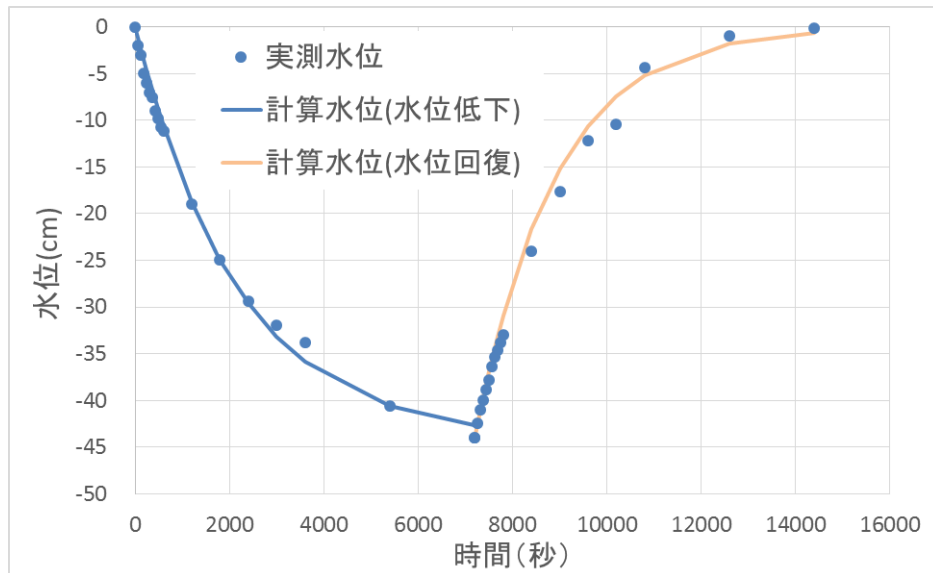
**Fig. 6 2014年10月28日の観測**

水位低下時の透水係数 : 0.0130 (cm/s)

水位回復時の透水係数 : 0.0134 (cm/s)

#### 4. 2 2015年

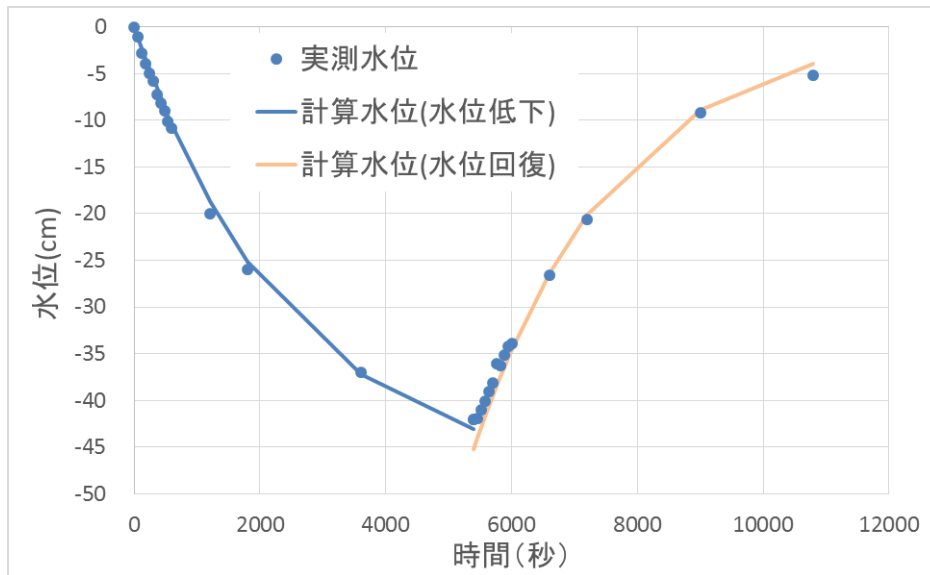
観測は、5月22日、5月29日、11月10日、11月24日に行われた。



**Fig. 7 2015年5月22日の観測**

水位低下時の透水係数 : 0.0181 (cm/s)

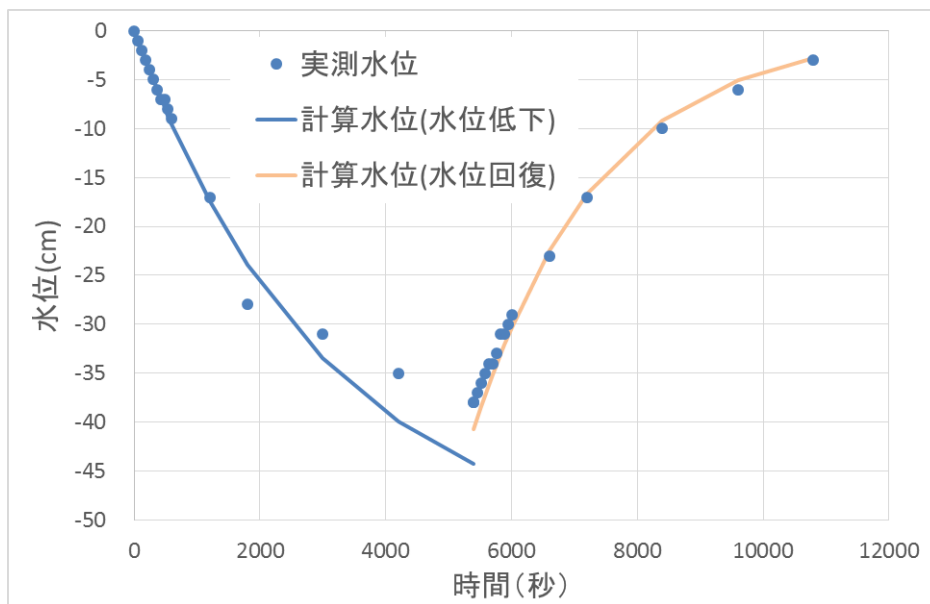
水位回復時の透水係数 : 0.0233 (cm/s)



**Fig. 8** 2015年5月29日の観測

水位低下時の透水係数 : 0.0159 (cm/s)

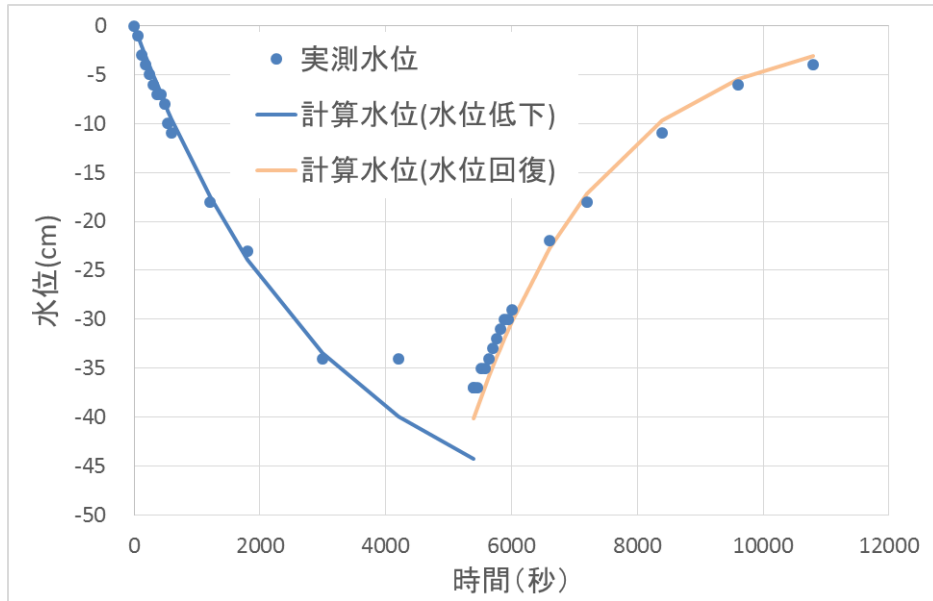
水位回復時の透水係数 : 0.0177 (cm/s)



**Fig. 9** 2015年11月10日の観測

水位低下時の透水係数 : 0.0156 (cm/s)

水位回復時の透水係数 : 0.0195 (cm/s)



**Fig. 10 2015年11月24日の観測**

水位低下時の透水係数：0.0158 (cm/s)

水位回復時の透水係数：0.0186 (cm/s)

## 5. まとめ

資料保管用コンテナ置き場となるために表面被覆が芝からコンクリートに変わる浅井戸の揚水実験から透水係数を求めた。提案した方法では透水係数の値が 水位回復時>水位低下時 となり、観測によっては両者の差がかなり大きくなる場合があることが分かった。

間もなく基礎工事が終わり、コンテナが移設される。次年度も引き続き同様の観測を行い、コンクリートで被覆されたことが地下水にどの程度影響を与えるのか検証したい。

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

昨年度の解析手法をもとに、さらに詳しい解析を行ったものである。データを1地点から2地点に、また、ホワイトノイズが正規分布に従うものなのか、Levy分布に従うものなのかを詳しく調べた。このように、類似の手法を用い、また追加データを用いて研究内容を完結させたものなので、報告書としては、昨年研究実績に上書きする。

### (1) データ

昨年度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）であった（つまり、365個の時系列3つ分である）。今年度は、それ（大福）に加え、源緑輪中の15, 16, 17年度の時系列データを用いた。観測点は「欠測が全くない一年のデータ」ができるだけ沢山得られること、という基準で選定した。

### (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1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であった。 $\nu$  が2ならば通常のブラウン運動でモデル化できる可能性があるが、得られた  $\nu$  の値からして、大福地点の地下水位時系列データをモデル化するためには、通常のブラウン運動ではなく、非整数型モデルが必要であることが分かった。

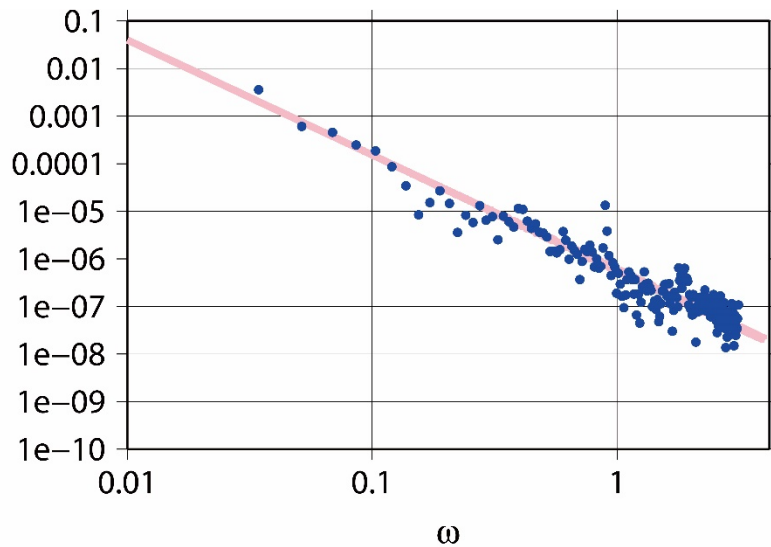


図1： 地下水位時系列データの角振動数とパワーの関係（大福地点）

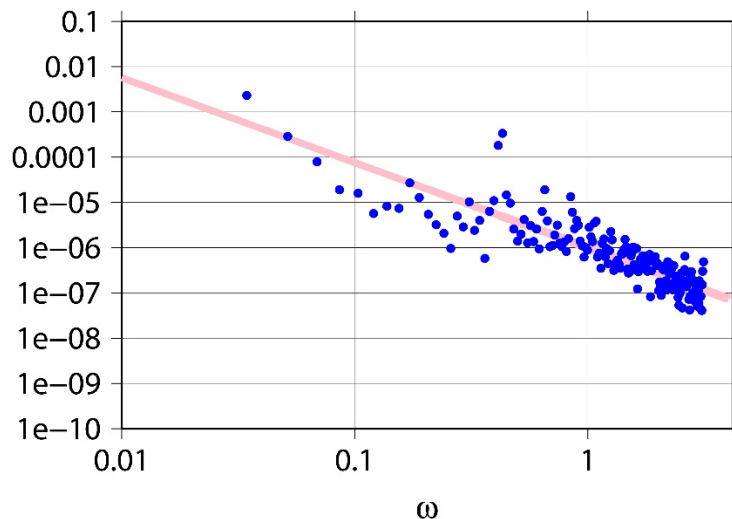


図2： 地下水位時系列データの角振動数とパワーの関係（源緑輪中地点）

図2は図1と同様の図で、ただし源緑輪中観測点のものである。これも、角振動数  $\omega$  vs. パワースペクトル  $P(\omega)$  が log-log linear な関係になっており、地下水位の時系列データをモノ

フラクタルモデルで表現できることを示している。この地点における $\nu$ の値は1.88であり、大福地点と同じく、 $\nu=2$ からは多少離れた値が得られた。

次に、式(3)を用いて、両地点での $X_t$ 時系列を計算した。その結果を示したのが図3（大福）と図4（源緑輪中）である。それぞれ、普通軸で書いた図と両対数軸で書いた図を示している。

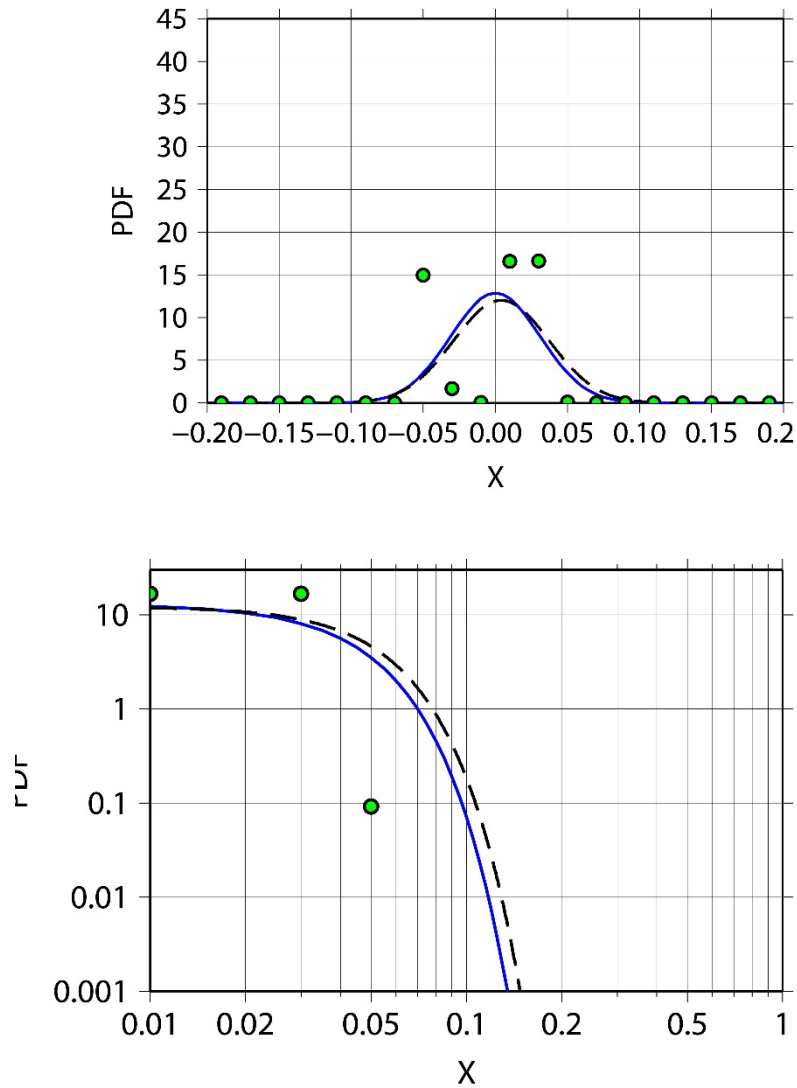


図3 大福地点のヒストグラムと確率密度関数

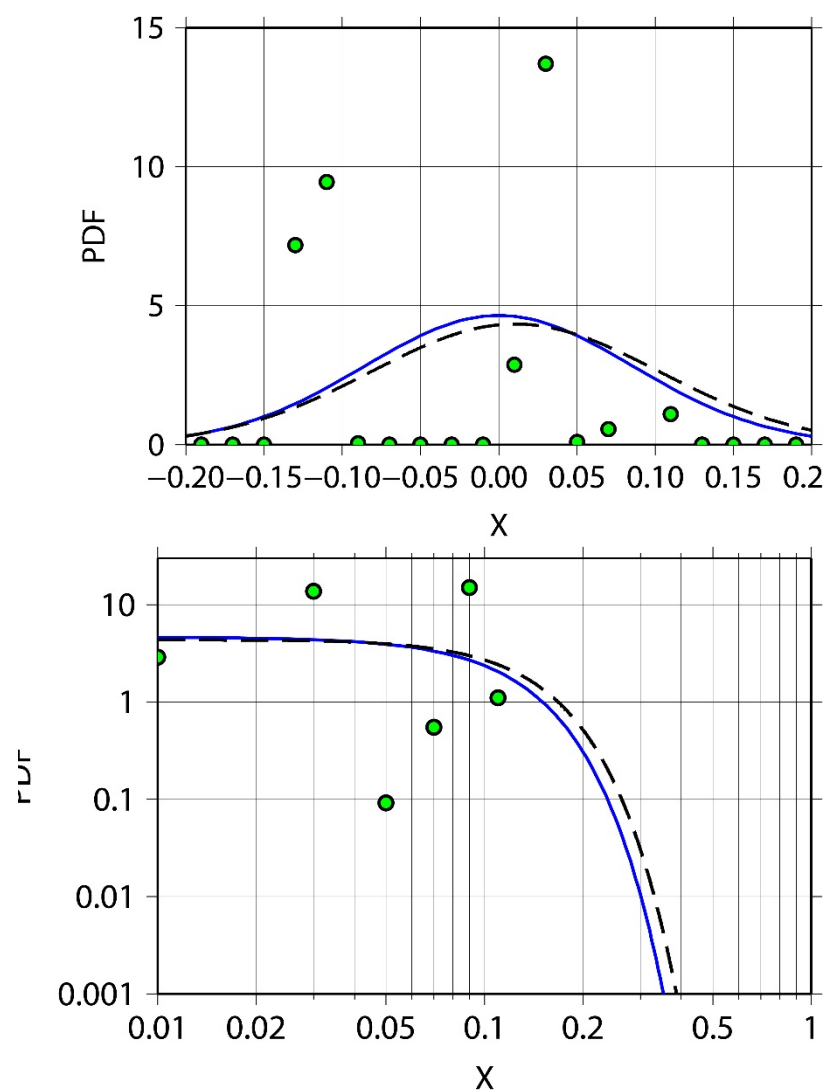


図4 元禄輪中地点のヒストグラムと確率密度関数

4つの図とも、緑の丸がヒストグラムで、実線が正規分布、破線がLevy分布の確率密度関数を表している。この種の解析では、裾の厚い分布が好ましい場合にLevy分布、通常のホワイトノイズで十分な場合には正規分布が選ばれることが多い。しかし、4つの図とも、「 $X_t$ を生成させるのにLevy分布を使用することは必要ない」ことは言えるものの、正規分布でもあまり適合度が良くない。 $X_t$ を生成させるのに適した分布が何なのかは、今後の検討課題としたい。

今後の検討課題：

できるだけ多くのデータがある方が正確な結果が得られる。3年程度のデータでは少ないかもしれない。今後は、工夫をしてデータ年数を増やし（H7,8,9,12,13,14などのように連続していないデータを重ねて使う）解析をする予定である。