

# 三重県地盤沈下調査研究会

## 平成21年度 調査研究報告書

2010年3月

## まえがき

三重県北勢地域の地盤沈下は、さまざまな規制や努力が功を奏して、近年はほぼ沈静化しています。しかし、臨海平野部の元来軟弱な地盤が広がる一部の地域では、地盤の累積沈下量がこの半世紀ほどで1mを超えているところもあります。また、平成6年の異常湧水時のように、一時的な地下水位低下の結果と考えられる沈下が、四日市市や桑名市等で比較的広範囲に認められたこともありました。

地球温暖化の時代を迎え、集中豪雨や台風時の高潮や内水氾濫等の防災対策には、十分な注意を払わなければなりません。こうした地盤が低く軟弱な地域は、地震や津波、液状化等に対して潜在的な危険をはらんでいます。調査研究の成果をもとにした適切な対応を行うとともに、地下水採取規制や地盤沈下等の災害防止事業を今後も推し進める必要があります。

本研究会は、三重県北勢地域の地盤沈下の実態を把握し、その対策を検討することを目的に、地盤沈下に関する既存資料の収集と解析、地盤環境変動や地下水の水質・流動の実態とその将来予測、水資源管理等に関して調査研究を行ってきました。本年度の主な調査研究は以下の通りです。

三重県北勢地域の帯水層分布を把握するために、地質情報（ボーリングデータ）をGIS(地理情報システム)で三次元的な空間解析をすることにより、本地域の地質構造を明らかにする試みを行っています。今年度は70カ所余りのボーリングデータを収集・整理し、GISを用いた分析をするための準備として、住所や紙地図からの位置情報を地理符号化するとともに、各ボーリング点での土質柱状図や比抵抗計測値のグラフ等のアナログ情報をデジタル化し、地質構造解析のためのデータベースを作成しています。

次に、1991年度から継続実施している北勢地方の7カ所の自噴井に対して、毎月1回自噴量、水温、電気伝導度、pHの計測調査の結果について報告しています。これらの結果は、北勢地方の地下水の涵養、流動、流出を表しています。観測の長期継続により、こうした調査資料が北勢地方の地盤環境の基本的なデータとなっており、北勢地方の健全な地盤環境に必要な計測であると言えます。

3番目の報告は、マルチフラクタル解析と呼ばれる非線形の数学的な解析手法を、伊勢湾岸地帯の標高データに適用することにより、地形解析を試みています。地形はマルチフラクタル的な性質を持っているとされており、数学的モデルによって地形を表現できることが知られています。モデルで使用するパラメータを、地盤沈下が起きた本地域と起きていない他地域に対して算定し、本地域の地形的な特徴を抽出し、地盤環境変動の将来像を予測しようとする研究です。

本調査研究会の継続的な調査研究成果が、三重県およびその周辺地域における地盤沈下やそれに伴う内水氾濫等の災害防止、地下水をはじめとする水資源管理、水文循環システムの解明等の一助になることを願っています。

平成22年3月

三重県地盤沈下調査研究会  
会長 福山 薫

地質情報の三次元 GIS 解析による  
三重県北勢地域の帯水層の把握

三重大学大学院 生物資源学研究科  
共生環境学専攻 自然環境システム学講座  
環境解析学研究室

福 山 薫

# 地質情報の三次元 GIS 解析による

## 三重県北勢地域の帯水層の把握

三重大学大学院 生物資源学研究科 共生環境学専攻

自然環境システム学講座 環境解析学研究室

福山 薫

### 1. はじめに

本研究の目的は、三重県の水質・水道関係の部署や(財)三重県建設技術センター等で収集保管されている地質情報(ボーリングデータ)を、GIS(地理情報システム)による三次元的な空間解析をもとに三重県北勢地域の地質構造を明らかにし、この地域の帯水層分布の把握を試みることである。

本年度は、三重県北勢地域のうち、主として、三重県より提供を受けた桑名県民局管内と四日市県民局管内の地域の70箇所余でのボーリングデータを収集・整理した。また、GISを用いた分析をするための準備として、住所や紙地図からの位置情報を、地理符号化した。それとともに、各ボーリング点での土質柱状図や比抵抗計測値のグラフ等のアナログ情報をデジタル化し、地質構造解析のためのデータベースを作成する。

こうした資料をGISに適用して、この地域の地質構造をデジタル技術で明確化することによって、帯水層分布等の三次元構造の把握に努める予定である。

さらに、今後は、過去(特に1970年代)に東海三県地盤沈下調査会や三重県地盤沈下調査研究会の先達研究者が精力的に調査研究された地質構造や帯水層分布との比較検討を行うことも考えている。

## 2. 観測点の地理符号化

三重県から提供を受けたデータ類は、揚水設備設置許可申請時に各事業者から提出されている、すべて紙の資料である。

こうした設備の設置場所やボーリング地点は、住所が明記されており、ほとんどの申請書類には、紙地図上にその地点の位置が書き込まれている。しかし、GIS を用いた解析をするためには、各地点の位置が地理符号化（緯度・経度等の座標で表現）されていなければならない。

今回は、揚水設備やボーリング地点の所在地から、まずアドレスマッチングを実行し、さらに紙地図に記された場所を参考に、各地点の位置を地理符号化した。今後は、こうした公的な提出物や申請書類の場合は特に、GPS 等で得られる位置情報を付加することが要望される。

本年度は、三重県北勢地域のうち、主として、三重県より提供を受けた桑名県民局管内と四日市県民局管内の 70 箇所余でのボーリングデータ収集地点の観測記録を整理した。

次ページの表に、この各記録が得られた所在地、緯度・経度、その地点での地表の海拔標高とボーリング最深部の地表からの深さを示す。

緯度・経度は、アドレスマッチングと紙地図の判読から得たものである。また、その地点の地表の海拔標高は、国土地理院提供の基盤地図情報（数値標高モデル）の 10m メッシュ（標高）を基図として投入した GIS から、上記の各観測地点の標高を算出したものである。

## 3. ボーリング地点の位置分布と帯水層の推定

図 1 は、上記の三重県桑名県民局管内と四日市県民局管内の、70 箇所余のボーリング観測点位置を、基盤地図情報（数値標高モデル）の 10m メッシュ（標高）から計算した標高段彩図の上に描いたものである。

地点番号	所在地	経度	緯度	海拔高度(m)	最深度(m)
K1	いなべ市北勢町垣内中小山	E136.31.50.9	N35.8.43.9	91.1	80
K2	木曾岬町三崎?	E136.45.0.5	N35.3.45.8	0	1325
K3	東員町長深狐小路3140	E136.34.24.8	N35.3.8.4	48.9	1250
K4	桑名市多度町小山2160	E136.38.27.7	N35.7.39.3	22.2	1400
K5	桑名市多度町	E136.35.48.4	N35.7.26.1	83.5	182
K6	桑名市長島町松蔭	E136.43.42.3	N35.2.10.7	0.1	370
K7	いなべ市北勢町川原	E136.30.35.4	N35.12.15.8	209	150
K8	いなべ市北勢町阿下喜北谷3290	E136.32.32.8	N35.9.15.0	157.3	180
K9	いなべ市北勢町塩崎363	E136.31.4.2	N35.10.58.6	171.7	150
K10	いなべ市員弁町東一色町溜奥2796	E136.35.12.1	N35.6.52.9	104.2	180
K11	いなべ市員弁町坂東新田	E136.33.25.9	N35.8.35.4	129.7	129
K12	いなべ市員弁町坂東新田	E136.33.25.9	N35.8.35.4	129.7	271
K13	いなべ市大安町梅戸1100	E136.33.37.7	N35.4.2.8	55.7	300
K14	いなべ市藤原町上相場640-7	E136.30.24.3	N35.12.1.1	173.2	203.5
K15	いなべ市藤原町上相場640-7	E136.30.24.3	N35.12.1.1	173.2	451
K16	桑名市新西方1丁目22	E136.39.58.1	N35.4.5.3	77.6	156
K17	いなべ市北勢町阿下喜塚原771	E136.31.3.1	N35.8.37.2	79.6	250
K18	桑名市多度町	E136.38.15.8	N35.8.1.3	36.3	55
K19	桑名市大山田1584-150	E136.38.17.8	N35.5.24.7	86.5	88
Y1	四日市市塩浜町30-4	E136.37.5.9	N34.55.20.3	3.1	170
Y2	四日市市富士町1-27	E136.38.29.1	N34.58.51.3	4.4	176
Y3	四日市市楠町大字南川字西浦746	E136.36.46.6	N34.54.10.6	4.2	170
Y4	四日市市楠町大字南川字西浦746	E136.36.46.6	N34.54.10.6	4.2	170
Y5	四日市市河原田町字挟1254	E136.36.34.6	N34.54.37.1	4.6	155
Y6	四日市市中川原4-1-15	E136.35.40.4	N34.57.52.7	8.9	30
Y6a	四日市市富士町1-27	E136.38.42.6	N34.58.55.8	1.5	21
Y6b	四日市市富士町1-27	E136.38.44.8	N34.58.54.4	3.4	19
Y7	四日市市日永5039	E136.35.44.8	N34.56.49.3	4.8	215
Y8	四日市市山之一色町1760	E136.35.42.8	N35.0.2.2	31.3	120
Y9	四日市市山城町640	E136.35.37.2	N35.1.17.8	71.4	150
Y10	四日市市南小松町西野	E136.33.11.0	N34.55.5.8	50.8	95
Y11	四日市市川尻町100	E136.36.49.4	N34.55.37.2	3.9	180
Y12	四日市市三郎町1	E136.38.48.6	N34.58.19.4	3.6	250
Y13	四日市市楠町南川50	E136.38.0.7	N34.54.1.7	2.6	150
Y14	四日市市楠町南五味塚1315	E136.37.56.7	N34.54.21.6	2.9	156
Y15	四日市市楠町南五味塚928	E136.38.12.4	N34.54.24.6	2.7	150
Y16	四日市市楠町南五味塚937	E136.38.9.4	N34.54.21.6	2.8	148
Y17	四日市市楠町本郷30	E136.37.30.2	N34.54.43.0	2.6	106
Y18	四日市市楠町本郷30	E136.37.34.9	N34.54.43.9	2.5	76
Y19	四日市市楠町本郷30	E136.37.25.7	N34.54.42.6	2.8	182
Y20	四日市市楠町本郷30	E136.37.35.9	N34.54.37.8	2.5	139
Y21	四日市市楠町本郷30	E136.37.38.6	N34.54.39.0	2.5	139
Y22	四日市市楠町本郷30	E136.37.38.7	N34.54.38.6	2.5	137
Y23	四日市市川尻町1000	E136.36.36.2	N34.55.26.3	5.2	300
Y24	四日市市川尻町1000	E136.36.29.5	N34.55.14.1	5.7	300
Y25	四日市市川尻町1000	E136.36.50.7	N34.55.20.6	4.8	350
Y26	四日市市宝町1	E136.37.29.4	N34.55.55.1	2.2	154
Y26	四日市市宝町1	E136.37.21.4	N34.55.56.0	2.3	154
Y28	四日市市日永1730	E136.37.10.2	N34.56.25.7	2.1	305
Y29	四日市市日永1730	E136.37.10.2	N34.56.25.7	2.1	305
Y30	四日市市日永1730	E136.37.10.2	N34.56.25.7	2.1	310
Y31	四日市市寿町2-9	E136.37.32.7	N34.56.51.4	2.3	137
Y32	四日市市上海老町	E136.34.2.5	N35.2.3.3	48.7	130
Y33	四日市市垂坂町1587	E136.37.13.8	N35.0.32.8	29.9	215
Y34	四日市市上海老町大沢	E136.34.4.9	N35.1.46.4	45.2	100
Y35	四日市市山之一色町	E136.36.25.1	N35.0.17.8	50	220
Y36	四日市市中村町	E136.36.58.1	N35.0.44.2	58.8	203
Y37	四日市市上海老町	E136.33.57.7	N35.1.15.8	40	60

Y38	朝日町小向長割181	E136.40.32.3	N35.1.38.7	0	1717
Y39	四日市市内山町笹山8290-17	E136.32.58.8	N34.57.48.1	71.4	1200
Y40	四日市市智積町円上田3352	E136.32.48.4	N34.58.58.9	33.1	1200
Y41	四日市市波木町広瀬谷1077-31	E136.34.11.0	N34.56.12.9	29.2	1250
Y42	四日市市日永母ヶ坂5530-22	E136.35.15.9	N34.56.18.8	47	1205
Y43	四日市市生桑町川原崎308-1	E136.36.16.4	N34.59.3.5	8.5	1200
Y44	菰野町千草西江野7054-1260	E136.28.23.1	N35.0.53.1	151.7	1400
Y45	四日市市智積町中須37	E136.32.46.6	N34.59.47.1	36.4	750
Y46	菰野町千草猿ヶ原7076-2	E136.27.45.9	N35.1.12.8	354.3	1500
Y47	菰野町大字杉谷洗谷2304-1	E136.28.48.2	N35.2.45.9	161.9	25
Y48	菰野町宿野1433-74	E136.31.18.5	N34.59.59.5	87.1	180
Y49	菰野町福村75	E136.31.27.9	N35.0.20.7	57.9	26
Y50	四日市市山田町800	E136.32.23.7	N34.55.55.3	61.4	165
Y51	菰野町田光210	E136.30.52.0	N35.3.41.5	59.2	35
Y52	四日市市山之一色町	E136.35.41.1	N35.0.36.1	40.1	120
Y53	四日市市山之一色町	E136.35.46.4	N35.0.14.3	27.5	120
Y54	四日市市山之一色町	E136.35.43.3	N35.0.12.9	28	120

各地点の地下地層資料もデジタル化を進めているので、3次元 GIS の適用により、地層分布や帯水層分布の空間的な構造を解析できるものと考えている。

今回は、先ず手始めに、図 2 に示すように、いなべ市藤原町付近から四日市市楠町付近までの、北北西～南南東の約 40km のライン近くに分布する観測点を基にして、予備的な断面図を描いてみた。青い部分が、ストレーナーの位置や、粘土層の直上に存在する砂礫層の位置から推定した帯水層である。

#### 4. 今後の課題

今年度は、三次元構造の把握と先達研究との比較は、各種の資料やその調整が不十分なため今年度は実施できなかった。来年度以降も本テーマの研究を継続し、今年度収集したデータのほかに、他の地質資料等を調整することにより、帯水層等をはじめとする三次元構造の GIS 解析を実施し、過去の調査研究成果との比較検討を実施する予定である。



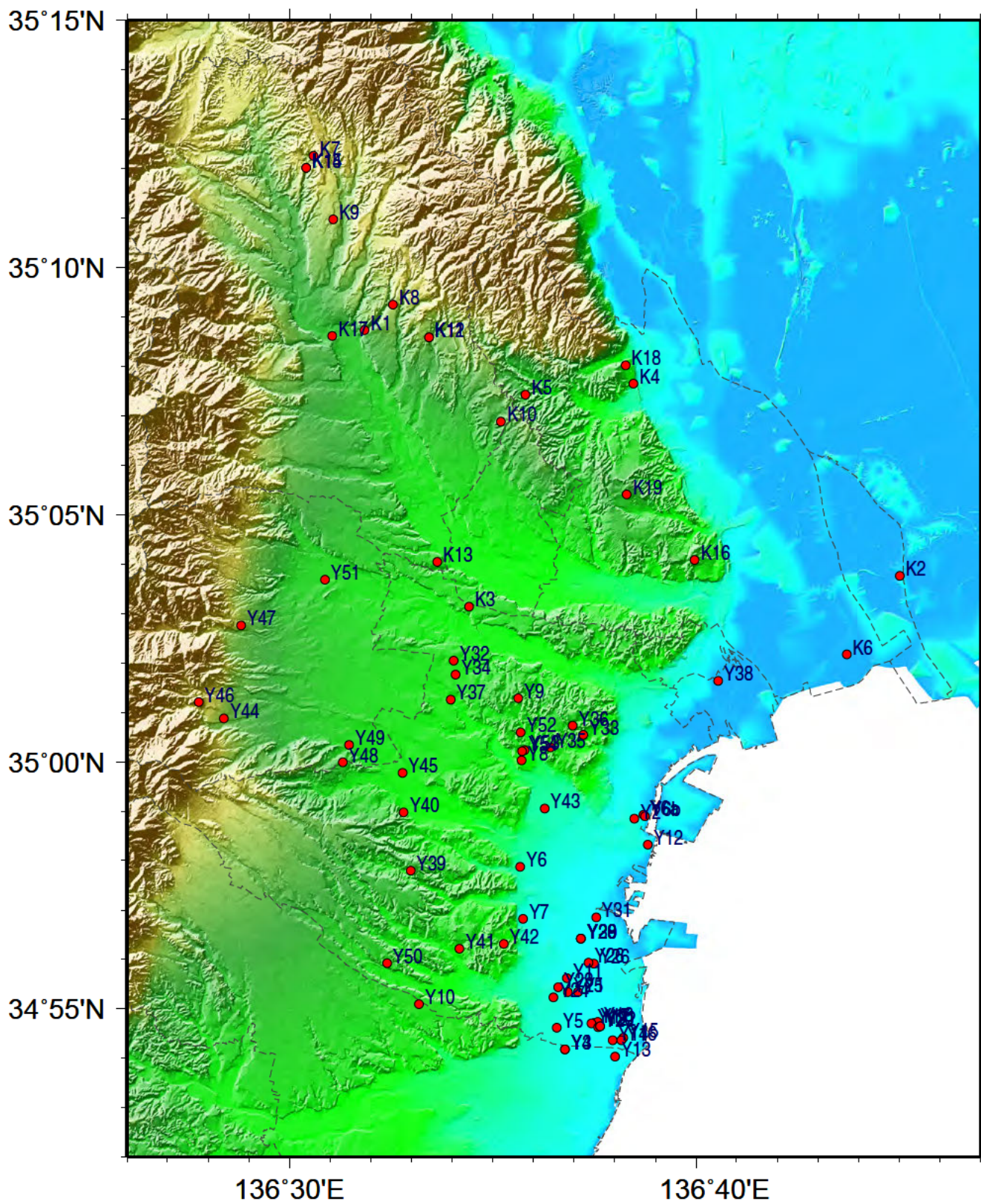


図1：三重県北勢地域のボーリングデータ分布



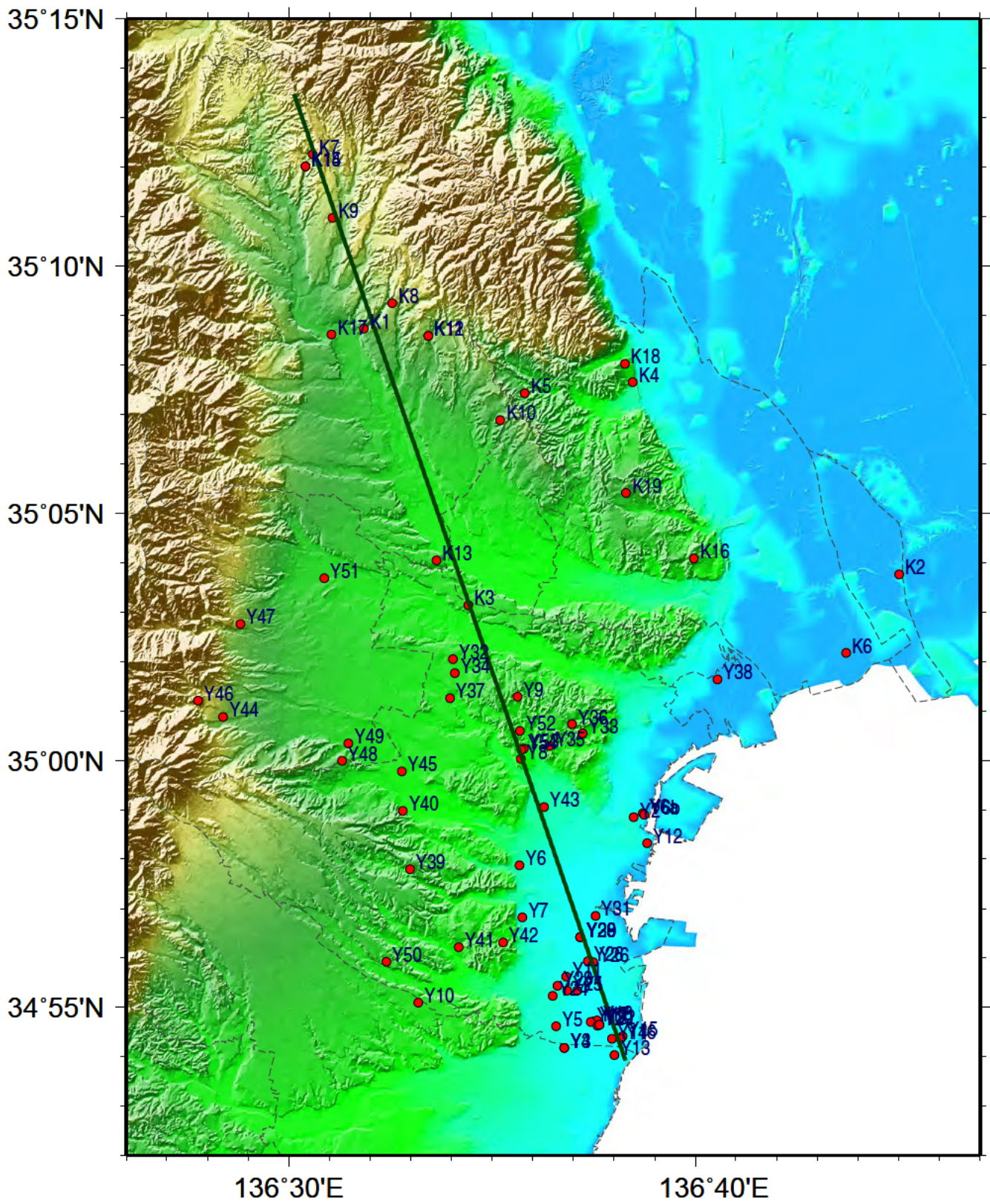


図 2：地下断面図推定の位置

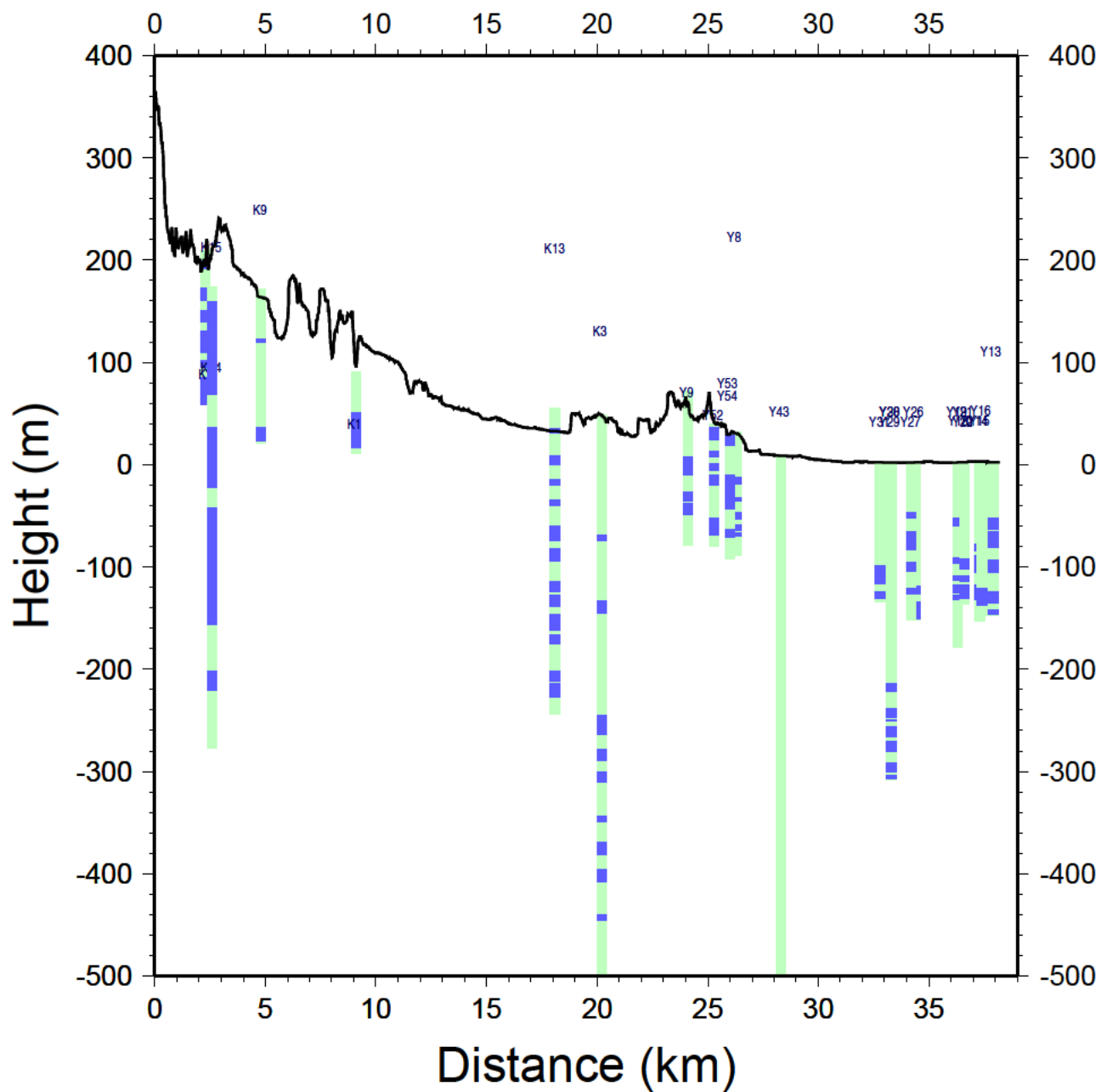


図 3：断面線に沿った各観測点での帯水層分布

# 北勢地方の自噴井調査

平成22年2月

三重大学

大野 研

## 0 . 序章

1991 年度から、北勢地方の自噴井の計測を継続している。即ち、北勢地方の 7 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と考えている。

### 1 . 地下水調査の概要

- 調査地点：当初は 10 カ所の自噴井であったが、噴出が止まったなどの事情で 7 カ所に減少している。図 1 に井戸の位置を示す。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。

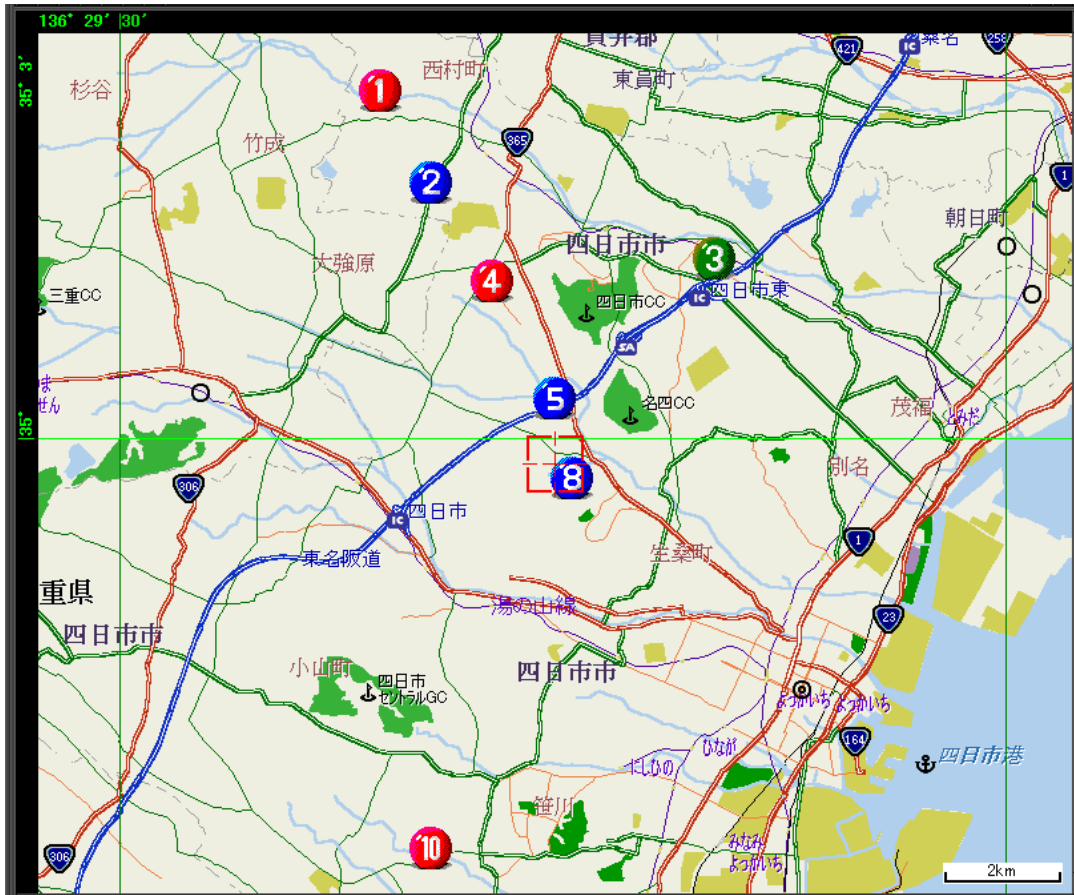


图 1 測定自噴井位置

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 2009 年 12 月までの自噴量の変化を示す。

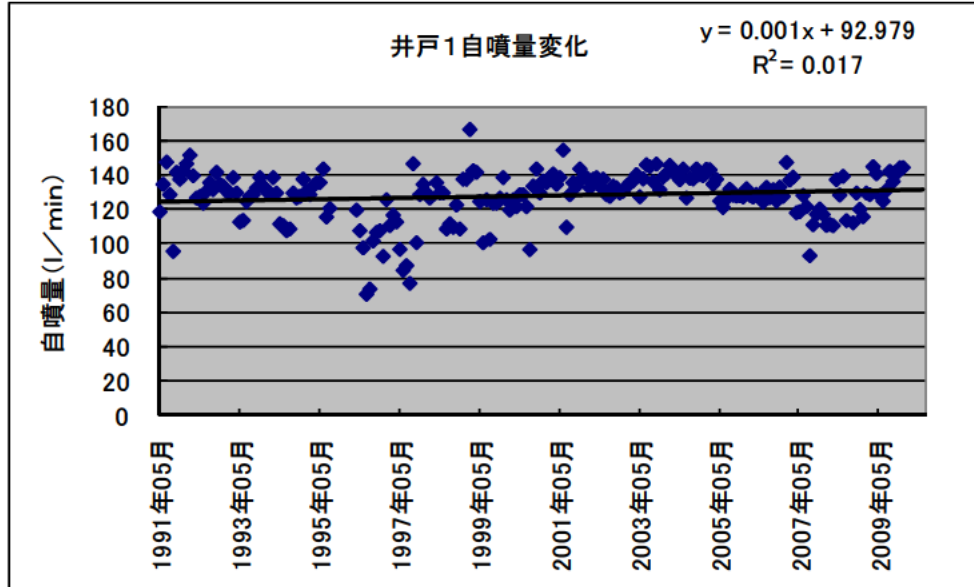


図 2-1 自噴井 1 の自噴量変化

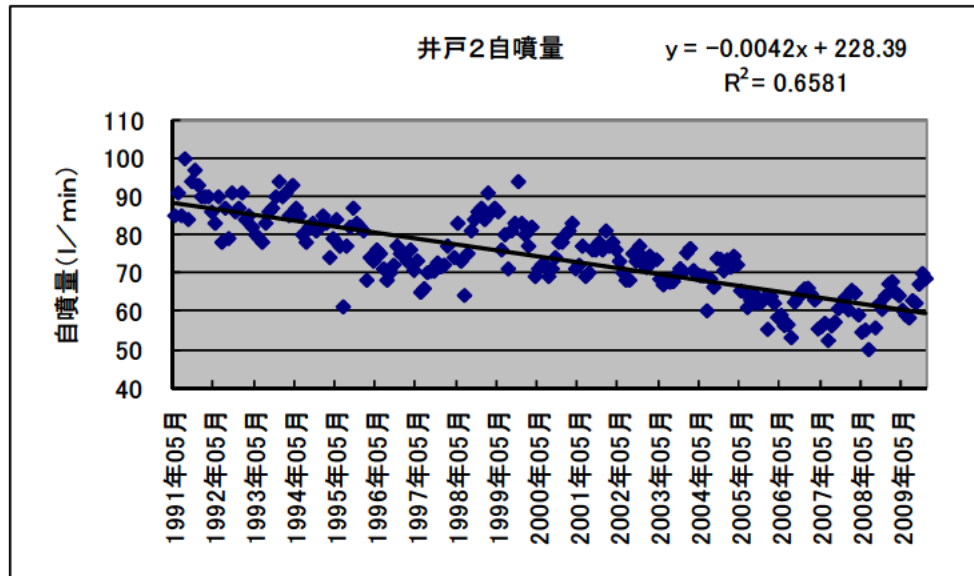


図 2-2 自噴井 2 の自噴量変化



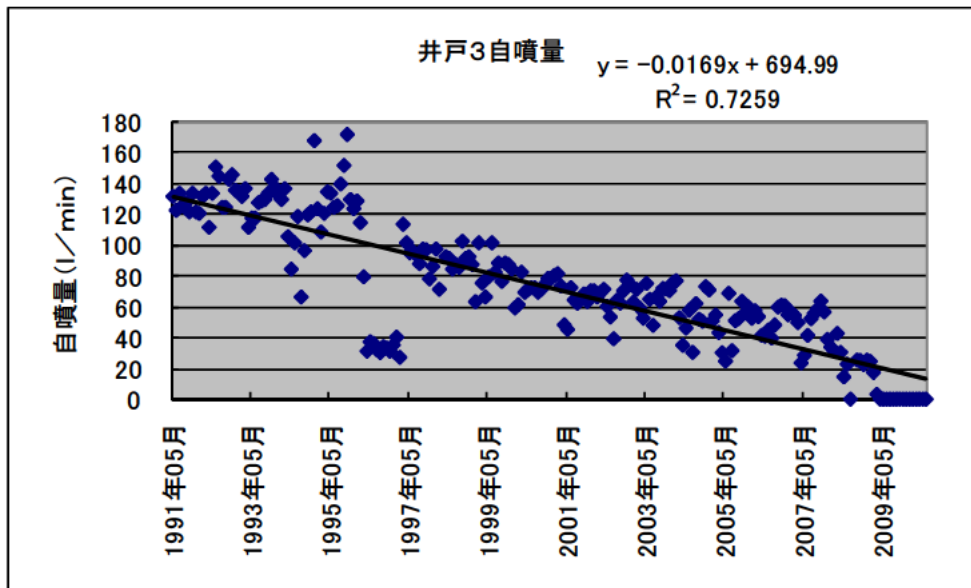


図 2-3 自噴井 3 の自噴量変化

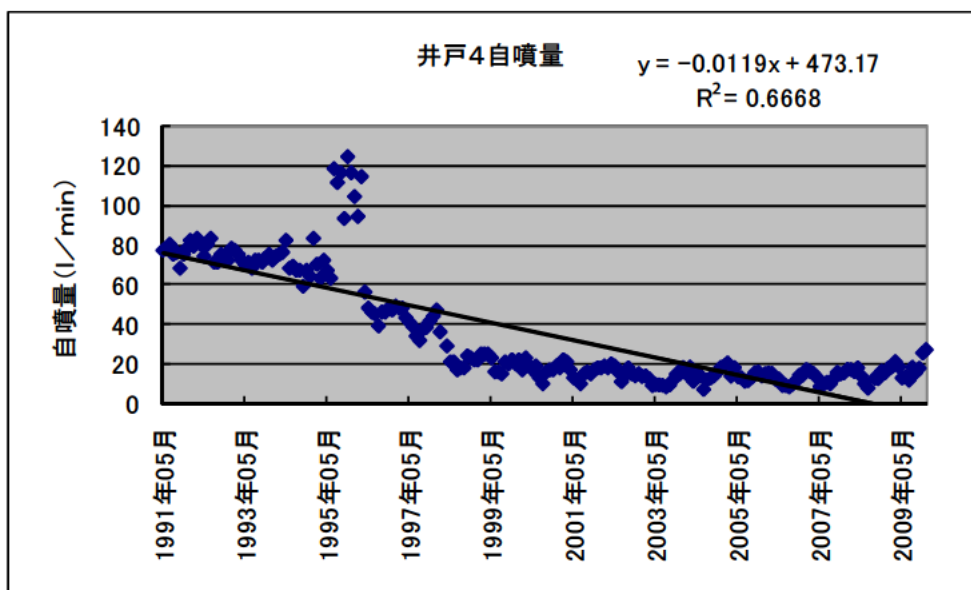


図 2-4 自噴井 4 の自噴量変化

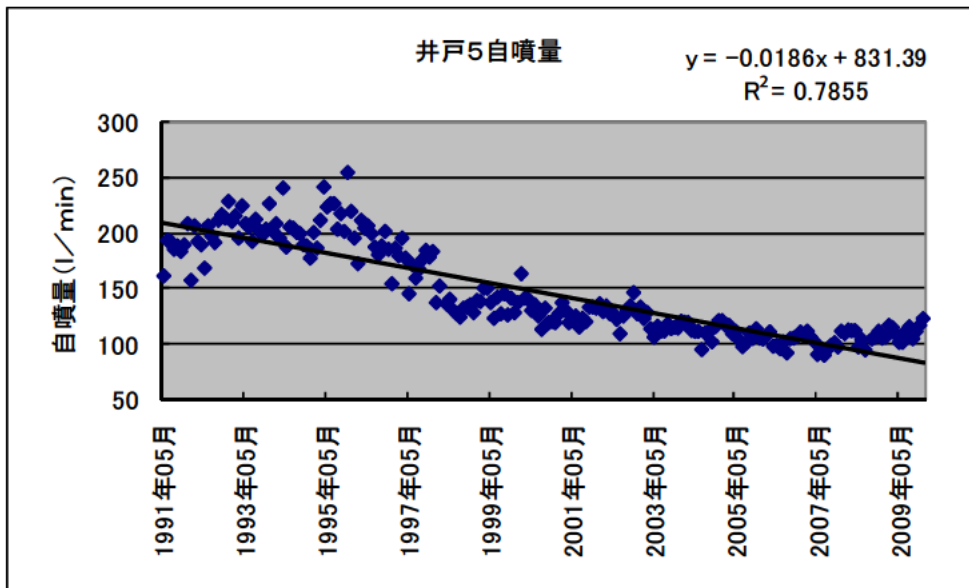


図 2-5 自噴井 5 の自噴量変化

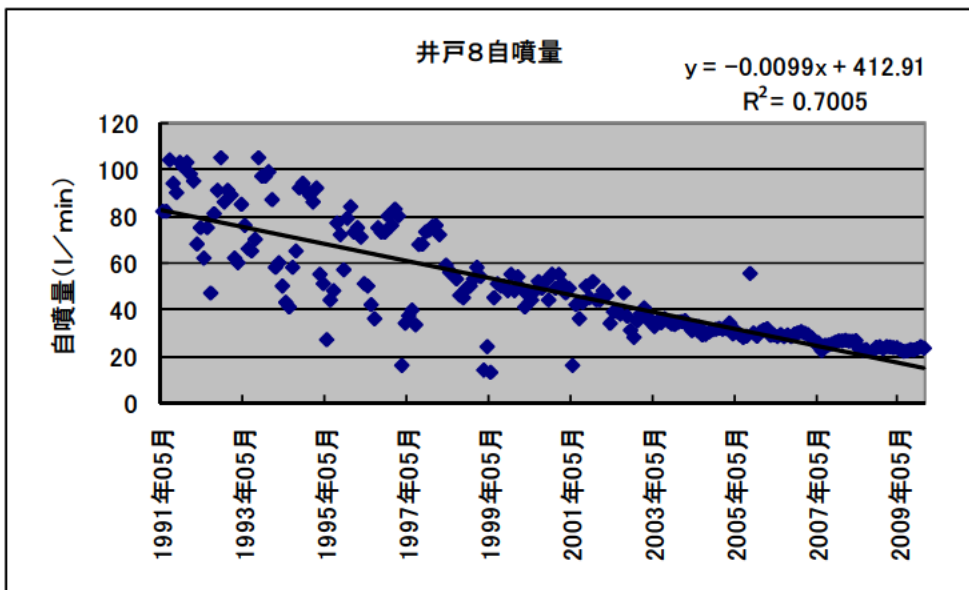


図 2-6 自噴井 8 の自噴量変化

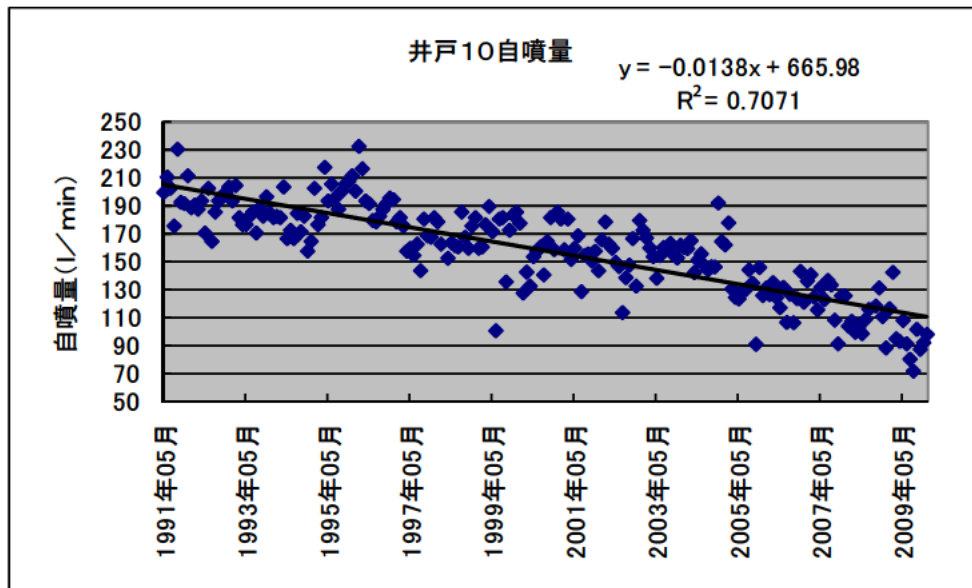


図 2-7 自噴井 10 の自噴量変化

これらの図から、井戸 1 を除いて、いずれの井戸の自噴量も長期的に減少傾向を示していることが分かる。しかし、井戸 2, 4, 5, 8 では、近年増加傾向がみられる。

井戸 3 では、2009 年 4 月から自噴が止まっている。井戸 10 では自噴量の減少傾向が強まっている。

次に全ての井戸の自噴量を同じグラフに示した図 2-8 を示す。

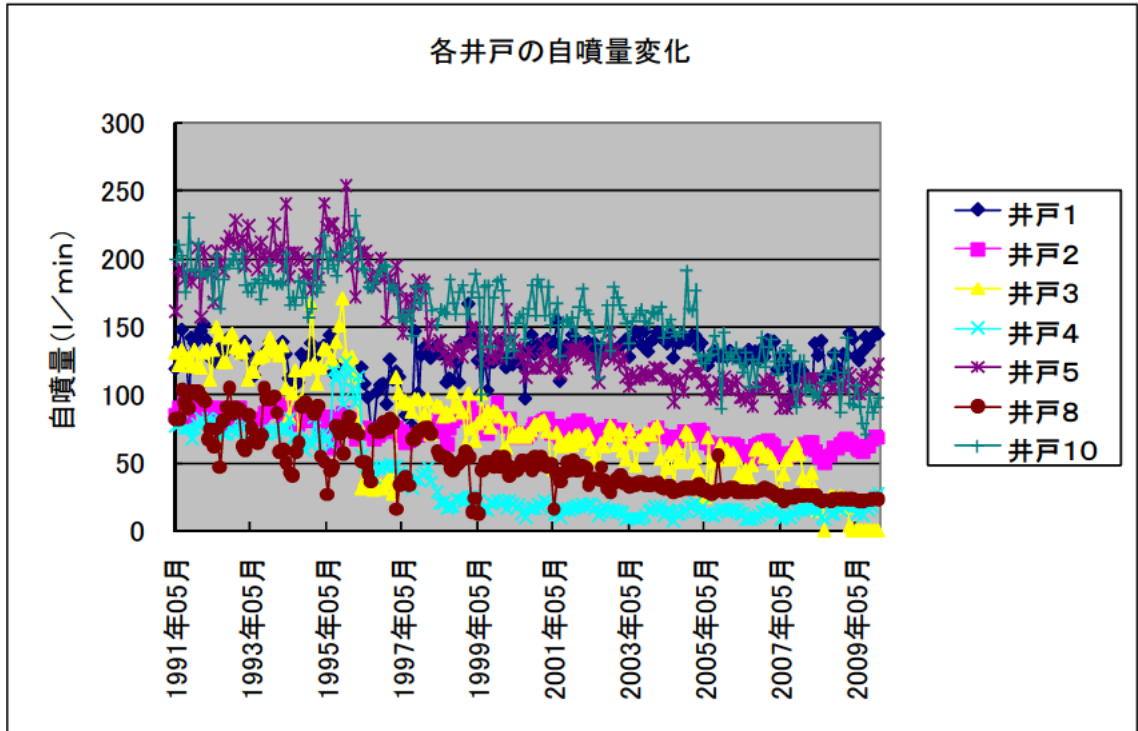


図 2-8 各井戸の自噴量変化

この図から見ても分かるように、自噴量の減少傾向は深刻であるが、いくつかの井戸で回復傾向にある。2つの井戸で減少傾向が強まっており、この違いを検討する必要がある。

さらに、地盤環境の変化を検討するためには、その他の計測値の変化も重要である。そこで、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示す。

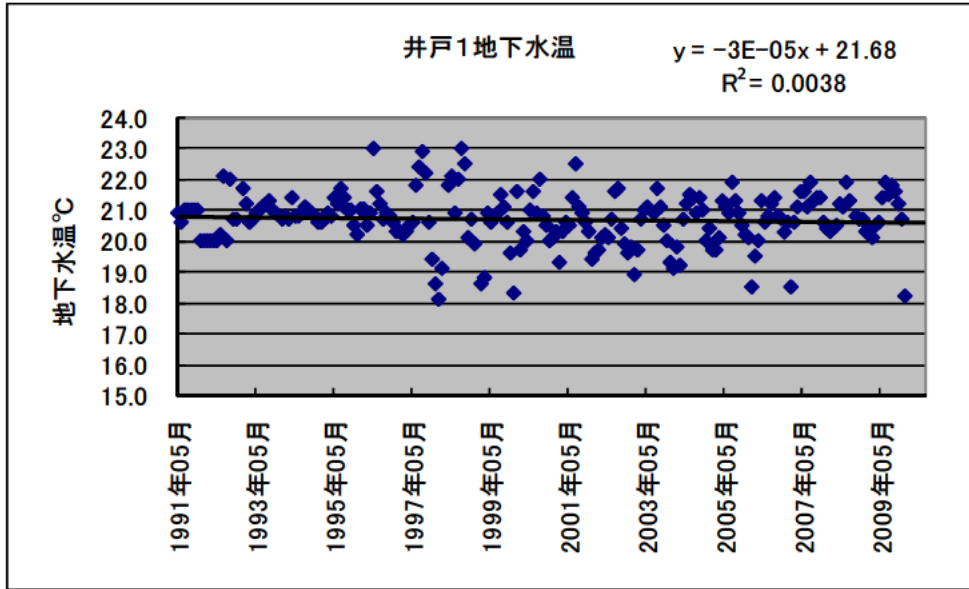


図 2-9 自噴井 1 の地下水温

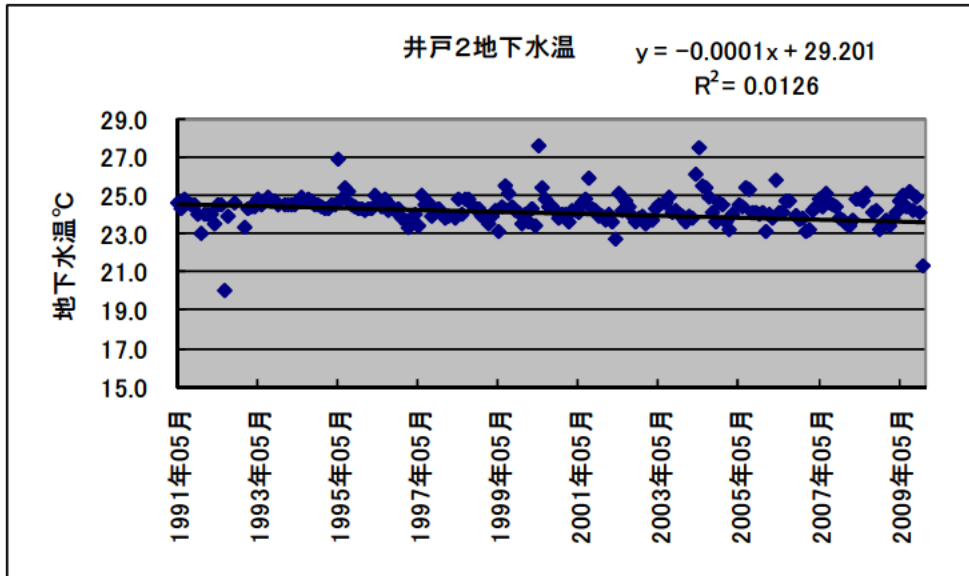


図 2-10 自噴井 2 の地下水温

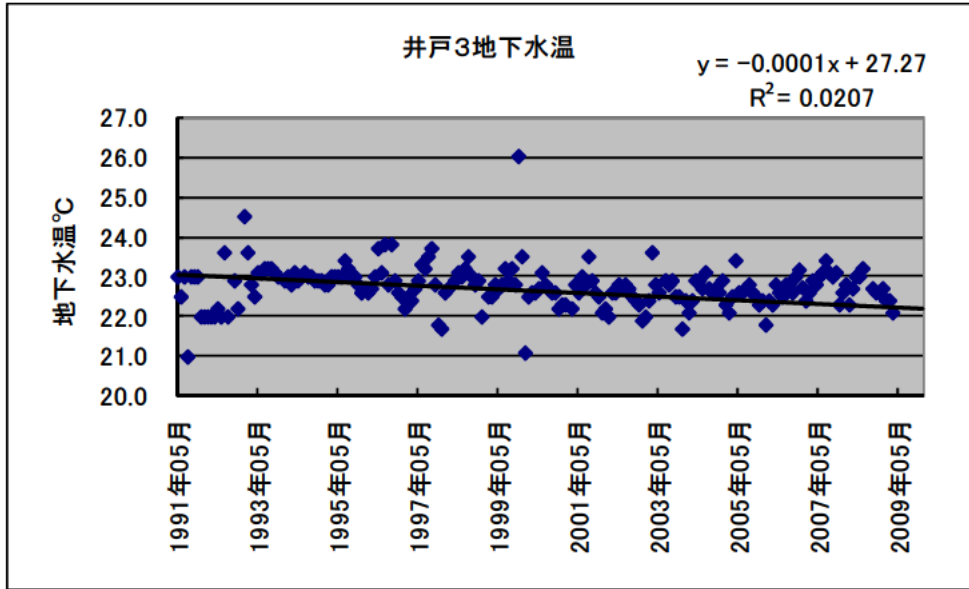


図 2-11 自噴井 3 の地下水温

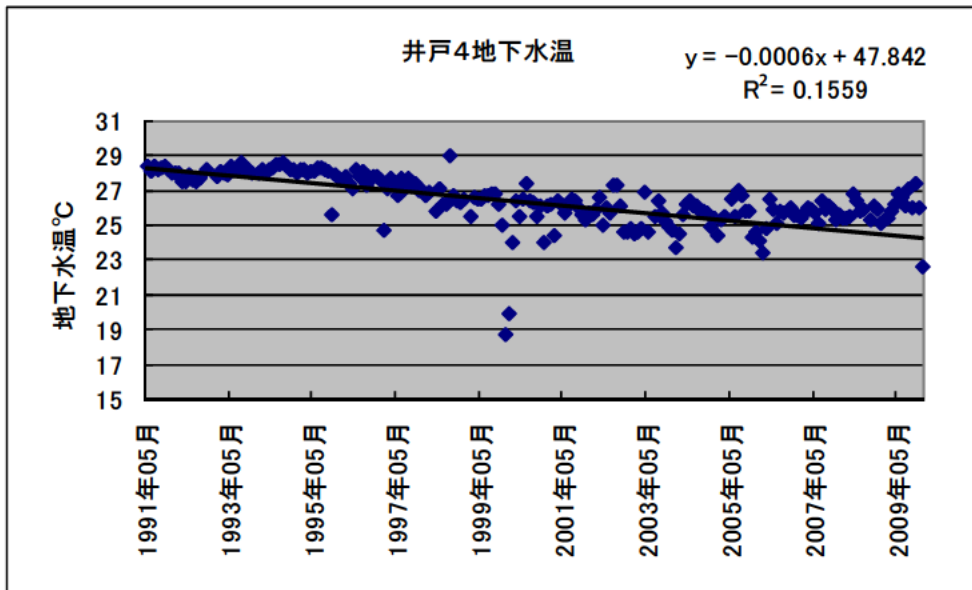


図 2-12 自噴井 4 の地下水温

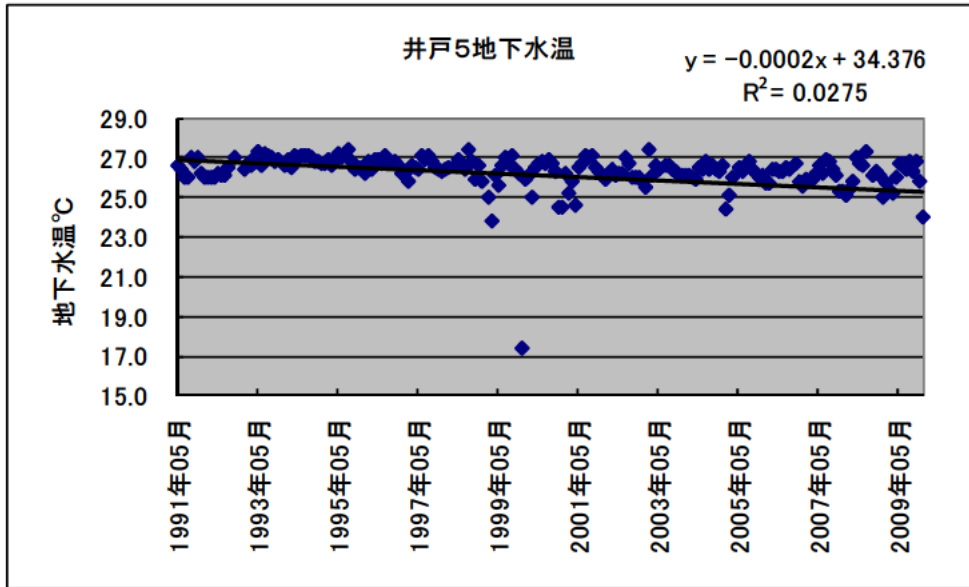


図 2-13 自噴井 5 の地下水温

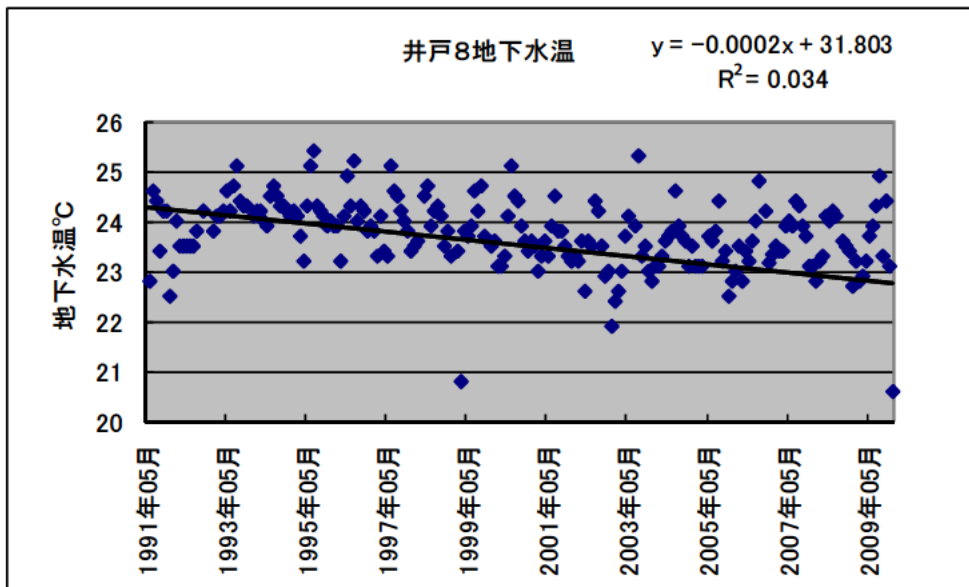


図 2-14 自噴井 8 の地下水温

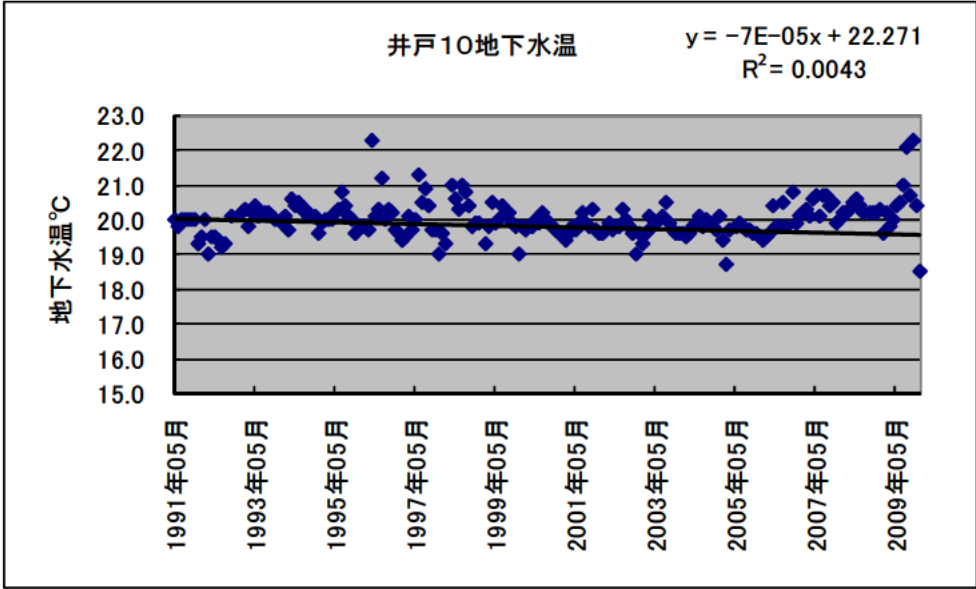


図 2-15 自噴井 10 の地下水温

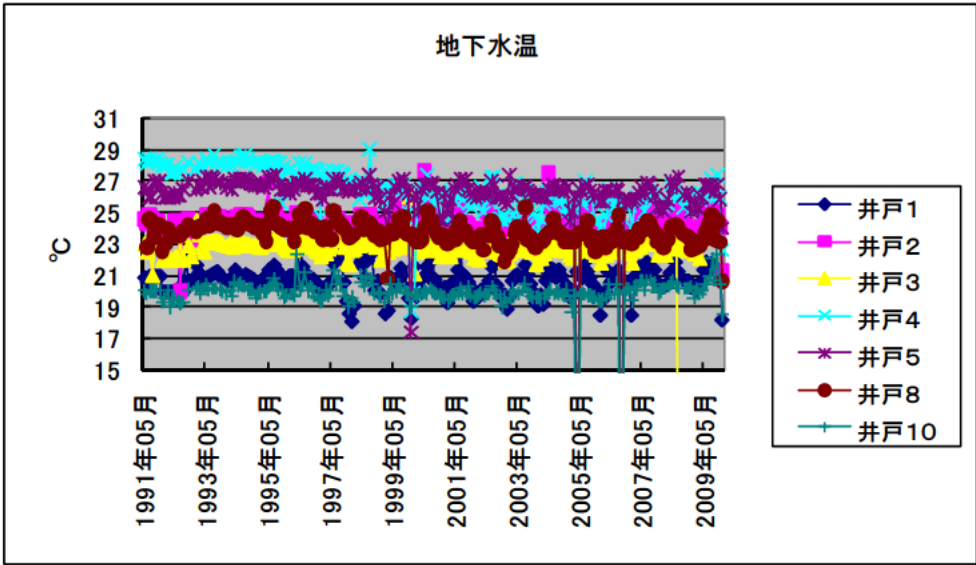


図 2-16 各井戸の地下水温変化



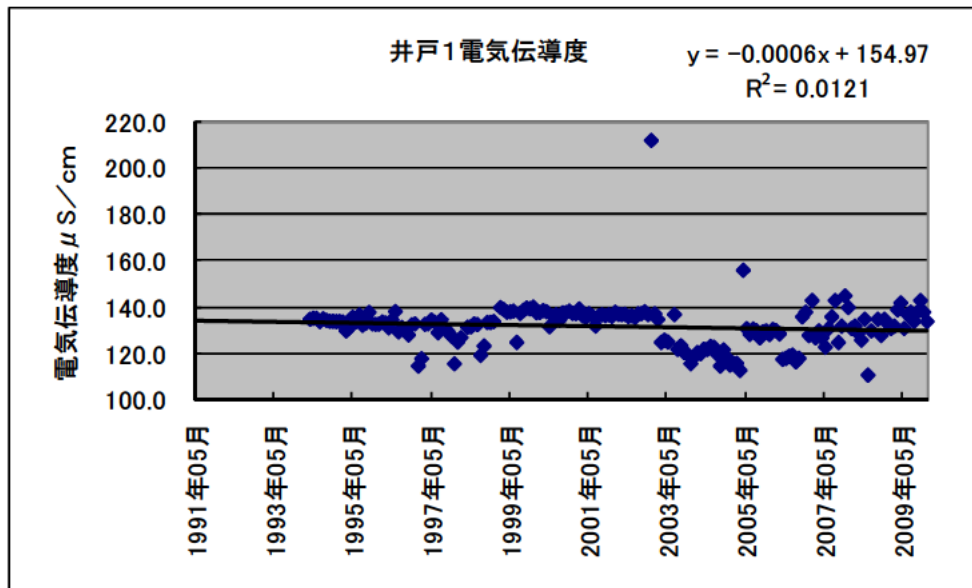


図 2-17 自噴井 1 の電気伝導度

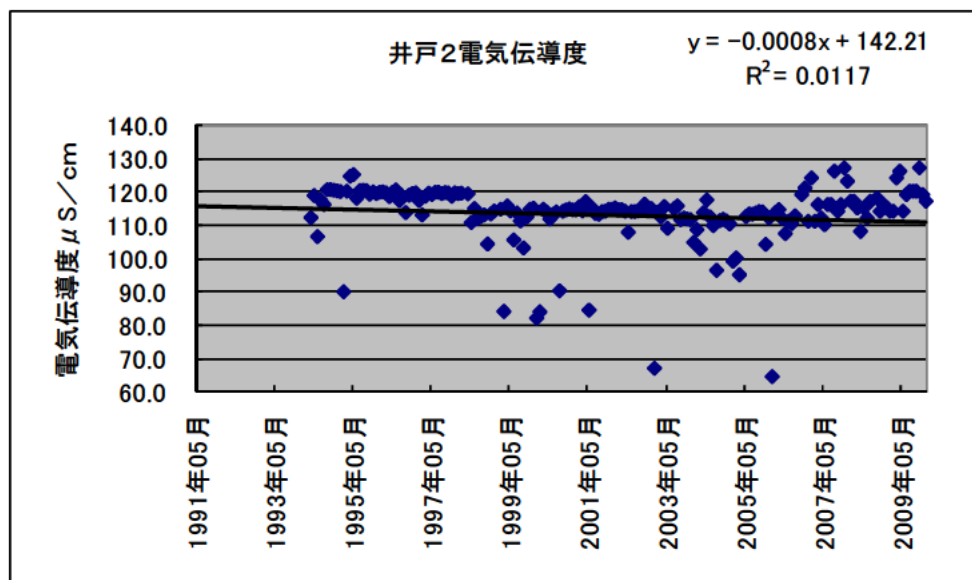


図 2-18 自噴井 2 の電気伝導度

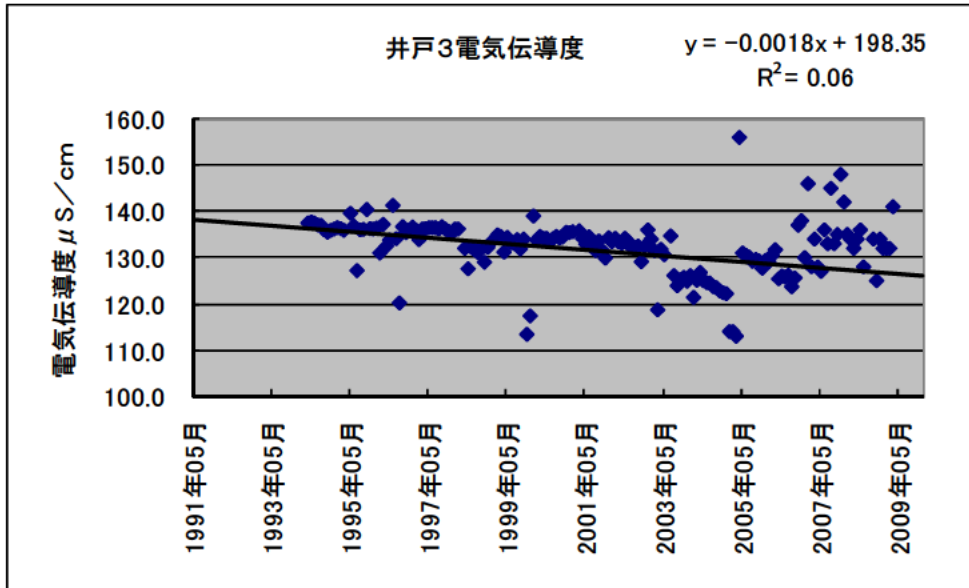


図 2-19 自噴井 3 の電気伝導度

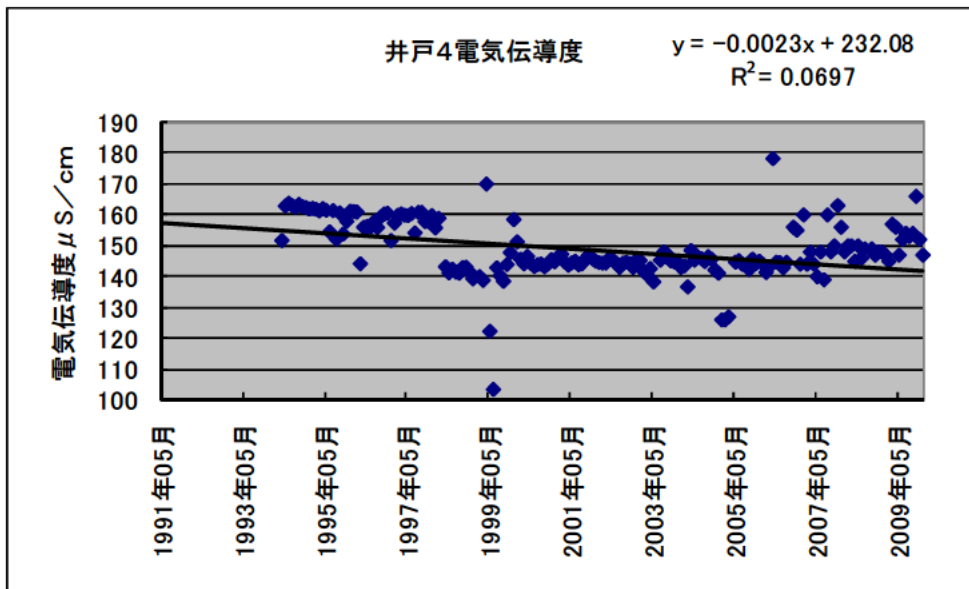


図 2-20 自噴井 4 の電気伝導度

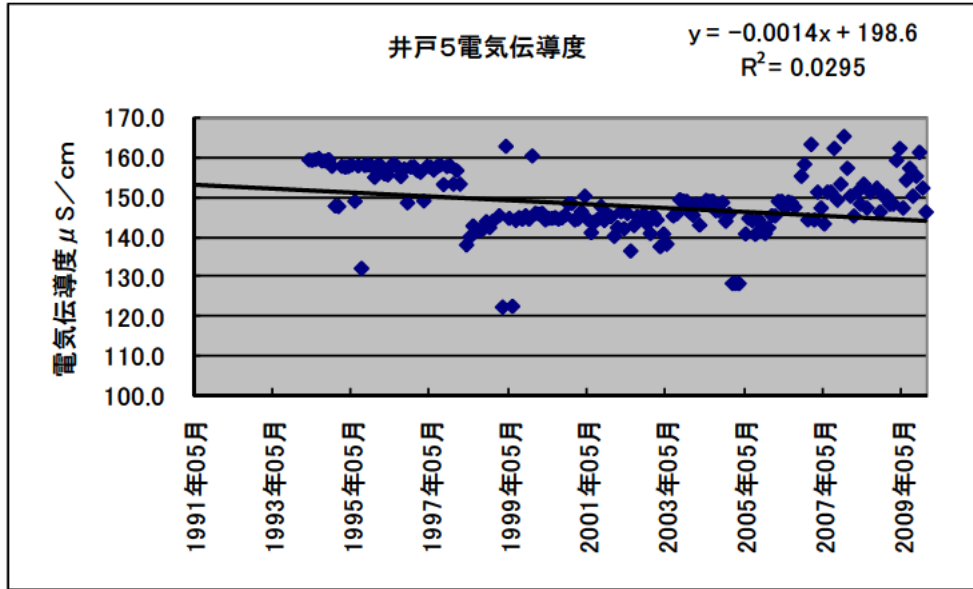


図 2-21 自噴井 5 の電気伝導度

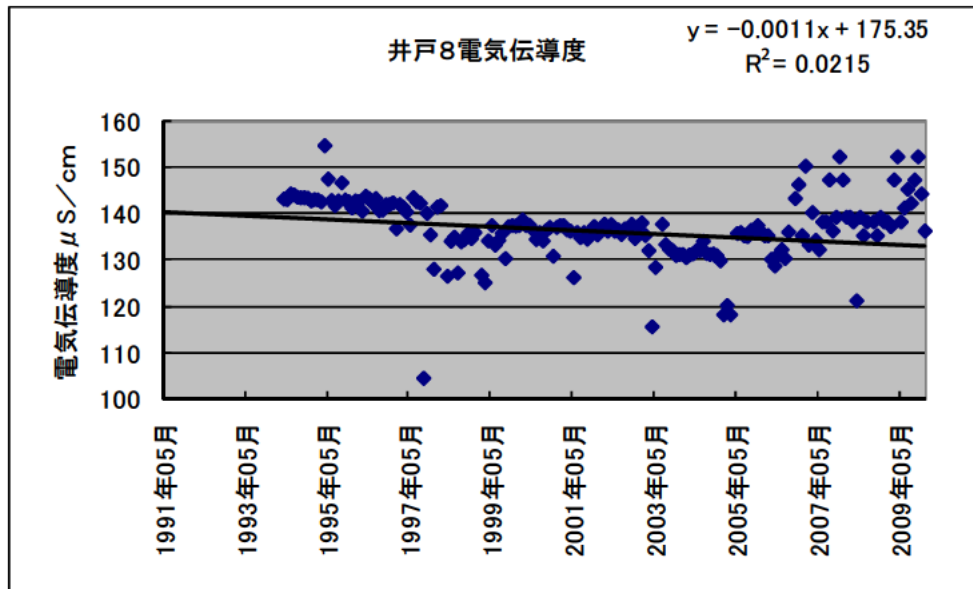


図 2-22 自噴井 8 の電気伝導度

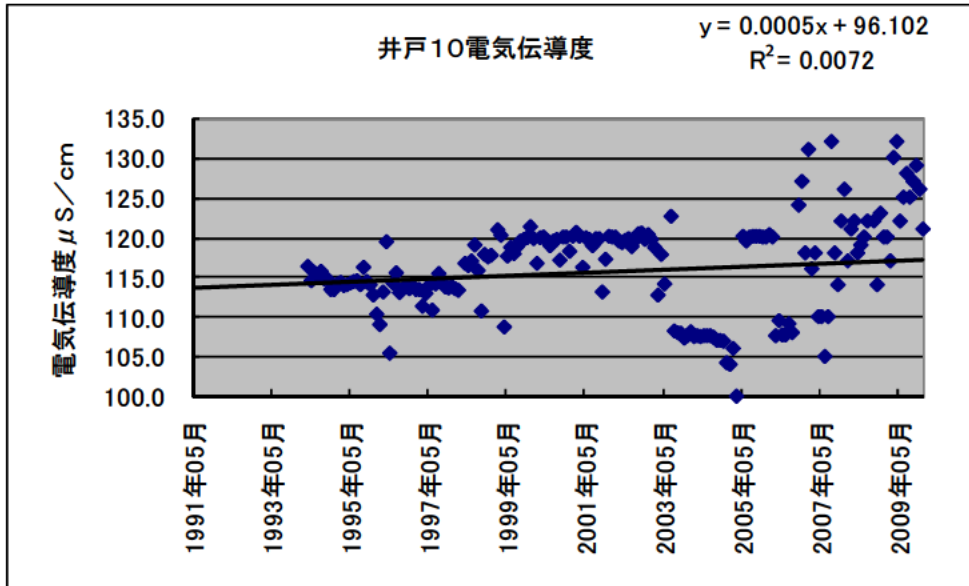


図 2-23 自噴井 10 の電気伝導度

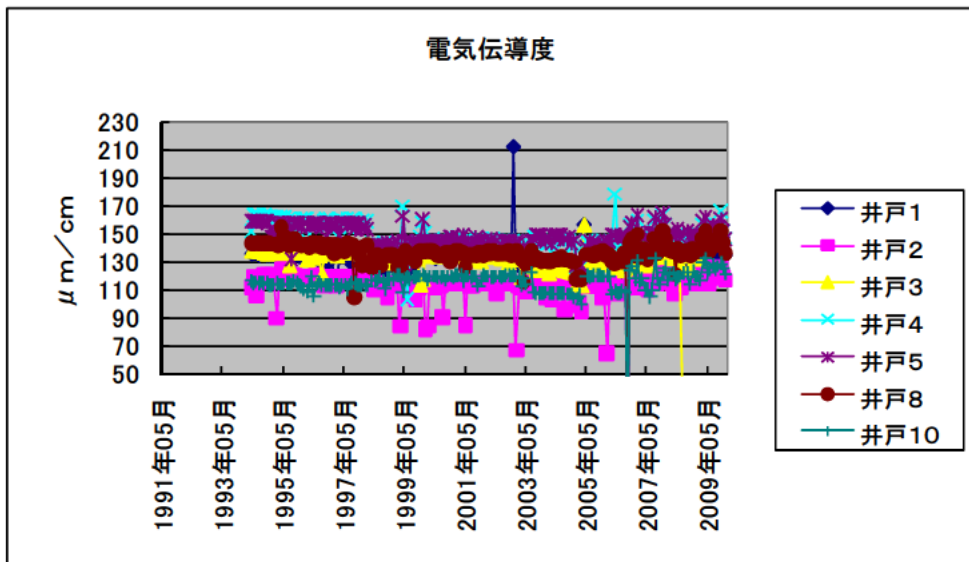


図 2-24 各井戸の電気伝導度変化

地下水温に関しては、すべての井戸でわずかに低下傾向が見られるが、測定の全期間(約18年間)を通して安定しており、異常は見られない。また、図 2-16 から分かるように、井戸3を除くと、概ね深い井戸は高い水温を示す。

しかし、電気伝導度は近年増加する傾向が見られる。

次に、pHの変化を図 2-25 から図 2-32 に示す。

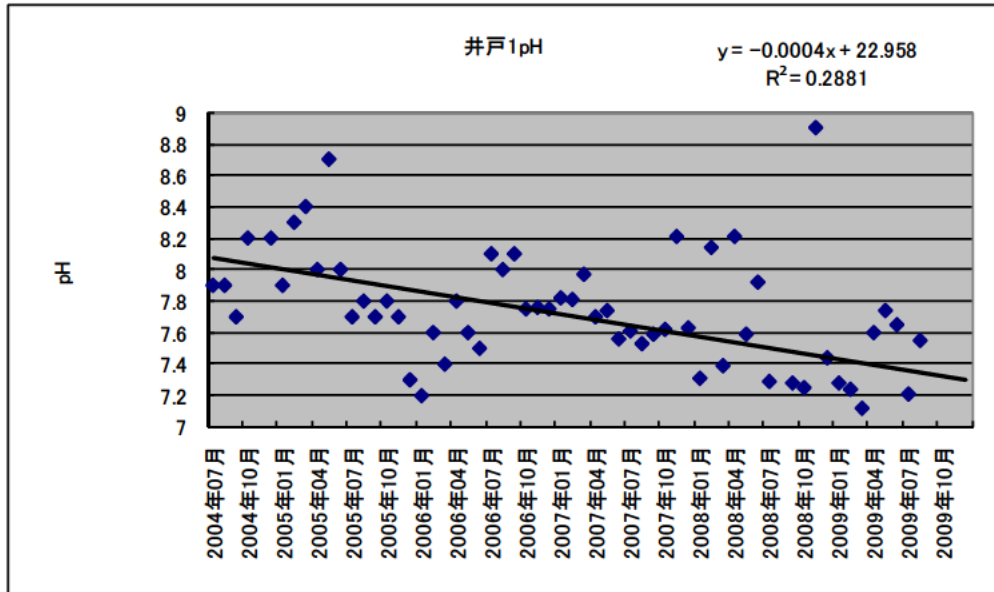


図 2-25 自噴井 1 の pH

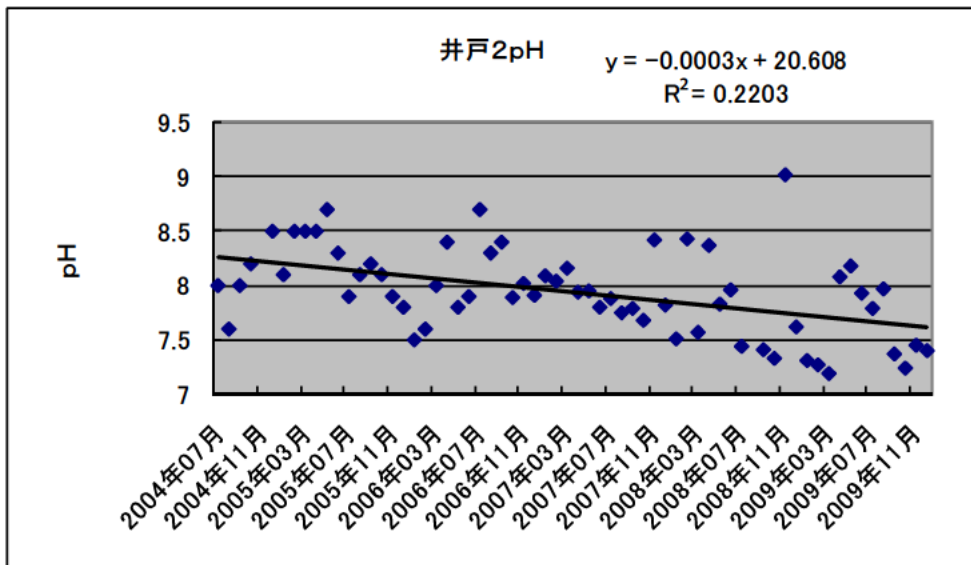


図 2-26 自噴井 2 の pH

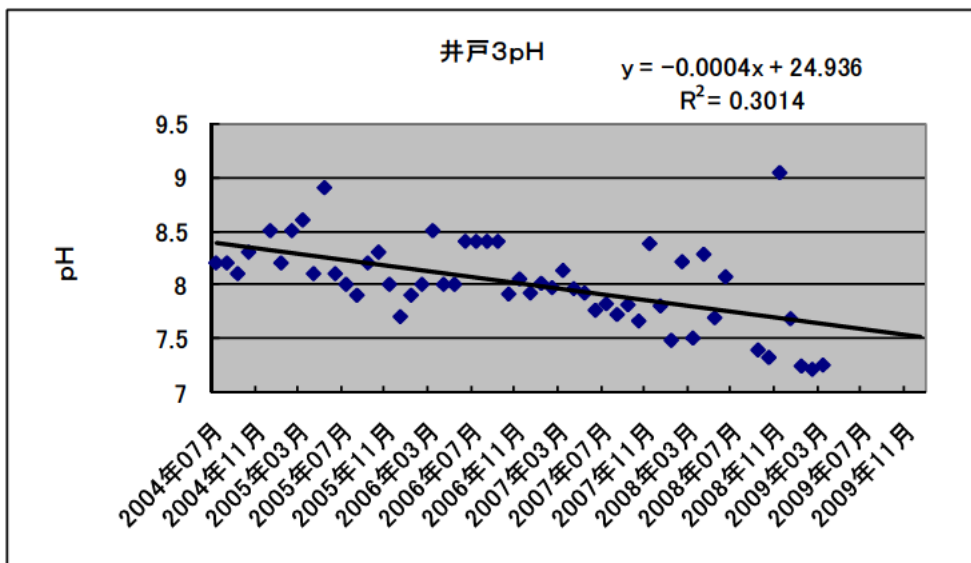


図 2-27 自噴井 3 の pH

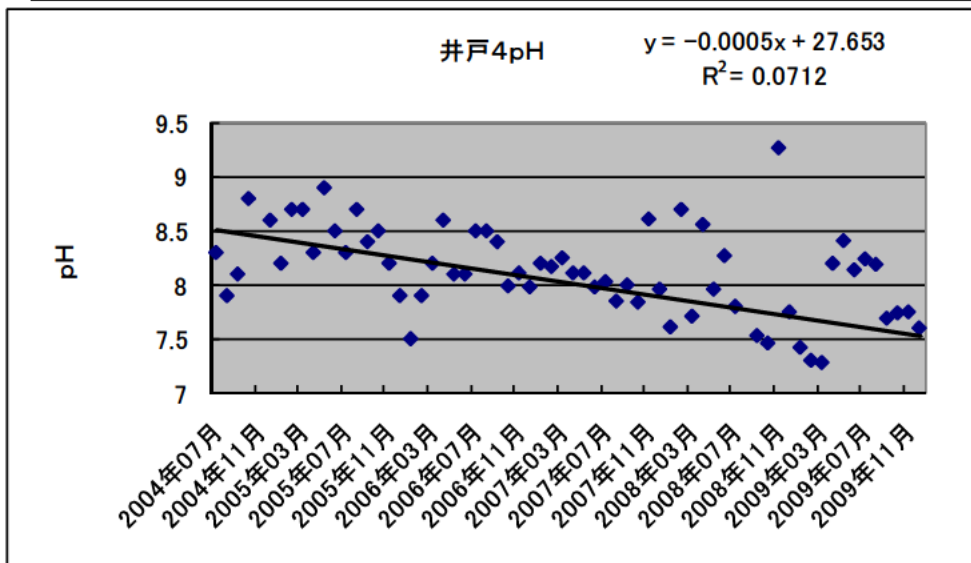


図 2-28 自噴井 4 の pH

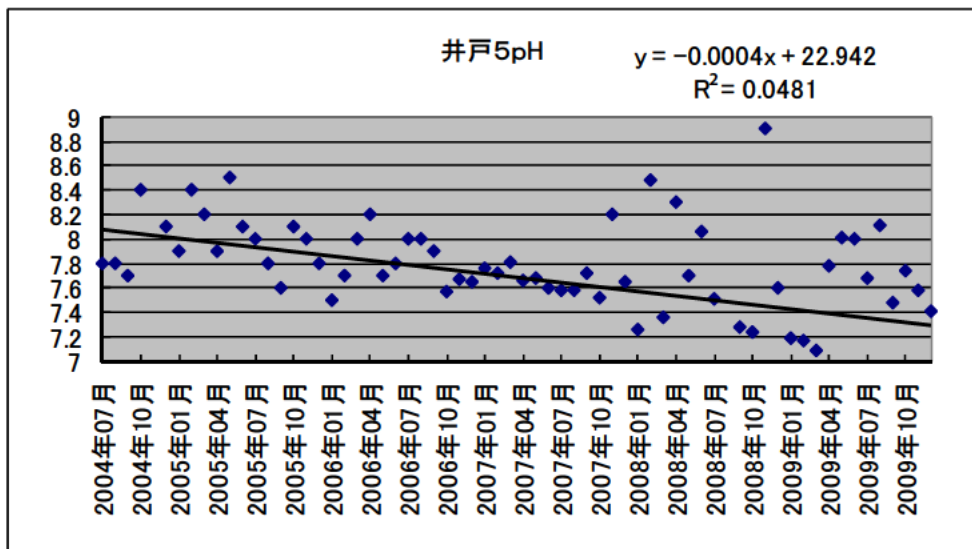


図 2-29 自噴井 5 の pH

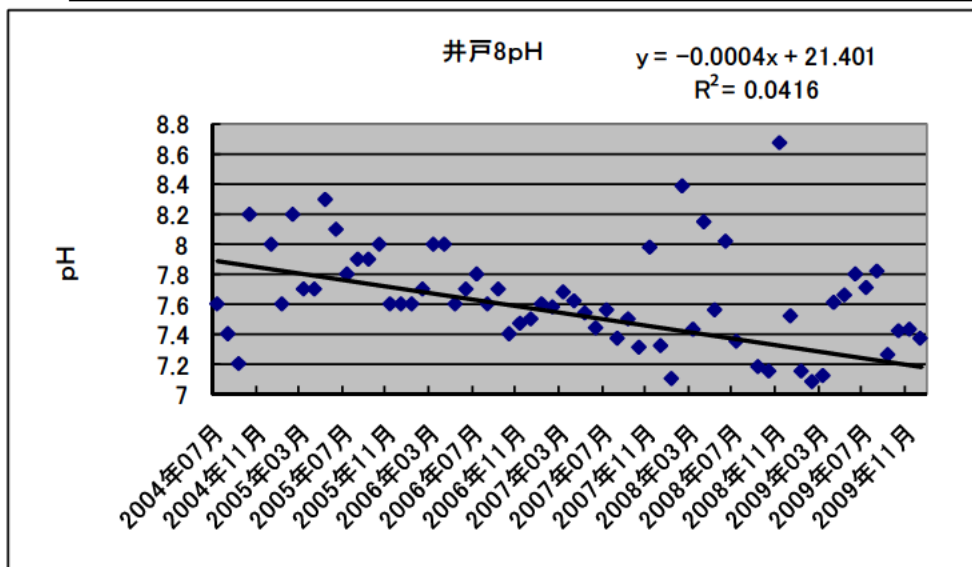


図 2-30 自噴井 8 の pH



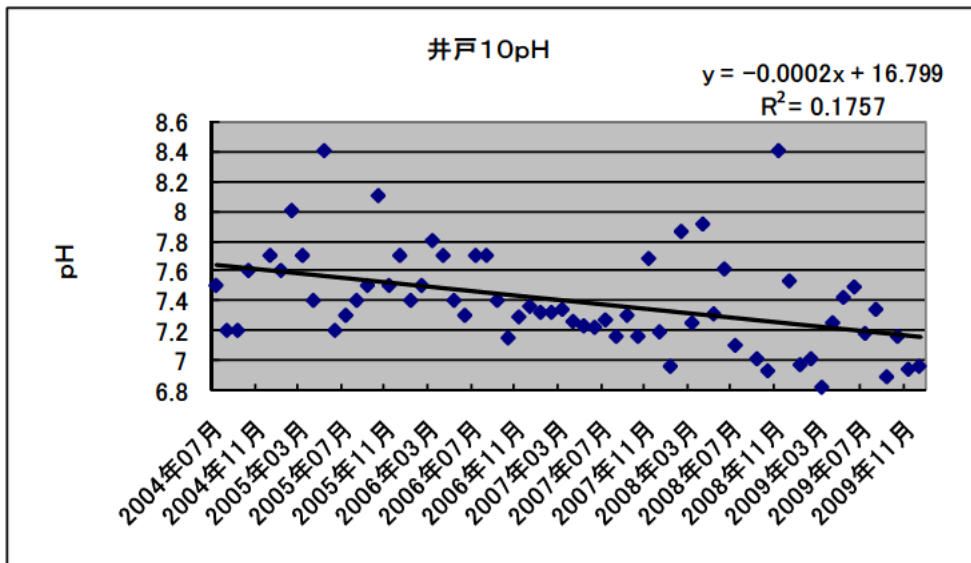


図 2-31 自噴井 10 の pH

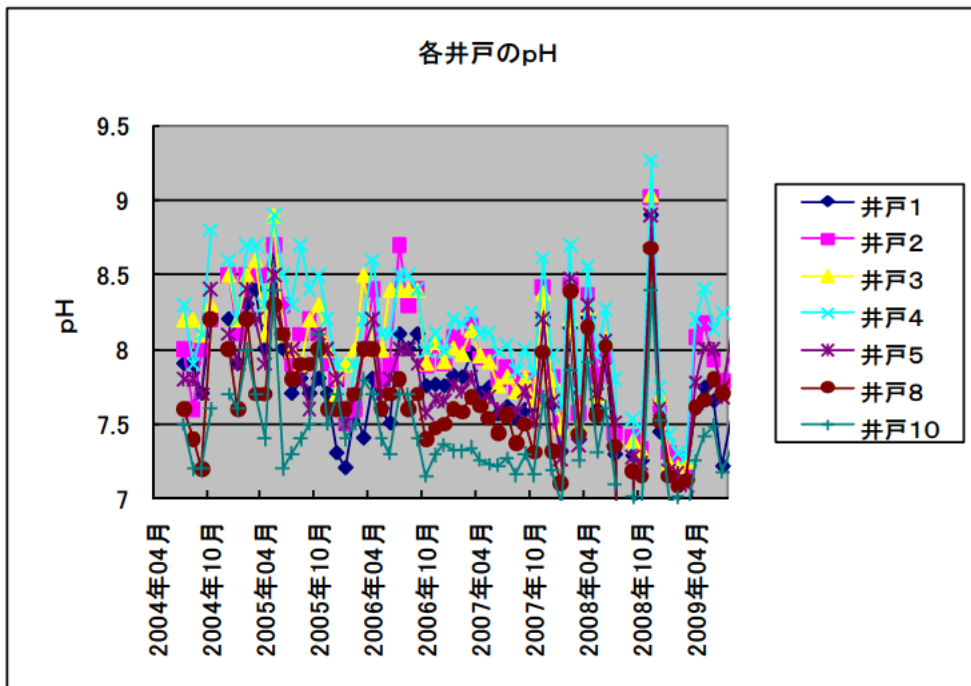


図 2-32 各井戸の pH 変化

pHに関しては、測定点が少ないが、夏に高く冬に低いというような傾向を示しながら、いずれの井戸でも低下傾向を示している。電気伝導度の変化と併せて考えると、表面水の混入が考えられる。しかし、それにしては地下水温の減少が見られない。

### 3. 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。一番顕著な変化を見せている自噴量の減少についても、これが地下水涵養量の減少なのか、地下水利用量の増大なのかがはっきりしない。井戸によって若干の違いがあるが、自噴量が春から夏にかけて減少する傾向があるので、地下水利用量の増大が顕著な影響を与えているのは確かである。しかし長期的な自噴量の減少傾向が、単なる利用量の増大なのか、地下水涵養地域の開発などによる涵養量の減少なのかは、依然として不明である。しかし近年、長期的な変動と異なる地下水の挙動が観察され、一層の注意が必要である。

# 非線形科学的手法による地形データの解析

葛葉 泰久 (三重大学大学院 生物資源学研究科)

## 2009年度報告

年度当初に申請した研究計画：

研究題目：非線形科学的手法による地形データの解析

研究担当者：葛葉泰久

研究内容：

非線形科学的手法のうち、おもにマルチフラクタル解析により、地形データの解析を行う。研究計画は以下のとおりである。

- 1) まず、標高データは、マルチフラクタル的性質を持っているはずであり、それを確認する。伊勢湾岸地帯の標高が Lovejoy and Schertzer が開発してきた Universal model で表現できることを確認したのち、モデルで使用するパラメータを算定する。
- 2) 他の地域の、地盤沈下が起きていない地域を対象に、同様の解析を行い、当該地域の異常性を明らかにし、将来像を予測する。地盤沈下が、単なる自然的摂動の範囲内であることが明らかになる可能性もある。
- 3) 標高データだけでなく、河川のネットワーク形状についても、類似の解析を行い、当該地域の特徴を明らかにする。

### 1. 研究結果概要：

(1) まず、計画で挙げた、Lovejoy and Schertzer のマルチフラクタルモデルについて検討した。標高データにこのモデルを適用する前に、降水量データにモデルを適用し、モデル化の手法について検討した。モデル化手法の検討が終わった段階で、標高データを用いて同様の検討を行うつもりであるが、降水量データを用いた検討に時間がかかり、(上記計画の)1), 2) の完成は、次年度になる予定である。

(2) 上記の3)については、独立行政法人土木研究所が開発したモデルを用いて、簡易に河川ネットワークが生成できそうだという検討結果を得ている。これについても、次年度、研究を継続する。

## 2. 現在までに得られた結果

上述のように，降水量データに Lovejoy and Shertzer を用い，標高データによる検討の準備段階として，モデルの予備的検討を行った．以下は，その結果である．

まず，Lovejoy と Schertzer ら（例えば Lovejoy and Schertzer, 2007 など）によって開発されてきた *multifractal model*（モデル化の手法としては“連続型カスケードモデル”と呼ばれる．また，3つ程度に限定されたパラメータだけでモデル化されているので“*universal model*”と呼ぶこともある）を用いて，降水量の時空間分布をモデル化する手法を検討した．モデルを用いる場面としては，メソスケール気象モデルの（降水量）アウトプットをダウンスケールする場面，治水計画において，対象降雨を生起させる場面，等を想定している．

この *multifractal model* について，全体像としては Tessier *et al.* (1993), Lovejoy and Schertzer (2007), シミュレーション手法については Wilson *et al.* (1991), Pecknold *et al.* (1993), Tchiguirinskaia *et al.* (2000) , また，特に時空間分布については，Marsan *et al.* (1996), Lovejoy and Shertzer (2009) などに詳述されている．基礎式は以下のとおりである．

$$\langle \varepsilon_\lambda^q \rangle \sim \lambda^{K(q)} \quad \dots \dots \dots (1) \quad \Gamma_\lambda = \log \varepsilon_\lambda \quad \dots \dots \dots (2)$$

$$\Gamma_\lambda = g_\lambda(x) * \gamma_\lambda(x) \quad \dots \dots \dots (3) \quad \Delta R_\lambda \sim \varepsilon_\lambda^a \lambda^H \quad \dots \dots \dots (4)$$

具体的には，パラメータ  $\alpha, C_1$  をパラメータとする *generator* で *white Levy noise* (*gauss noise* と異なり，正方向に極端な値が出ない)  $\gamma_\lambda(x)$  を生成させ， $g_\lambda(x)$  フィルターを通して（もしくはコンボリューション：Lovejoy *et al.* はしばしば“*fractional integration*”という語を使う） $\Gamma_\lambda$  を作る．最後に式(2)により， $\varepsilon_\lambda$  ができる．乱流エネルギーフラックスの様に生成された場が保存的な場合は（つまり  $H = 0$  ），上記の手法でフィールド（乱数  $\varepsilon_\lambda$ ）が生成でき，非保存的な場合は，加えて(4)式を用いる．ここでも，コンボリューションを用いる．ここで，シミュレーションのためには  $\alpha, C_1, H$  を算定する必要がある（式(4)の  $a$  は，多くの場合 1 とする）． $\varepsilon_\lambda$  を空間的にスムージングしたものが  $\Delta R$  になると考えてもよい．一般的には，この  $H$  は，水平方向，鉛直方向，時間方向で値が異なる．つまり，式(4)は，“例えば”下記の式(5)のように表わされる．ここで，鉛直方向だけ保存的なエネルギーフラックスを表す文字が違うが，乱流の鉛直方向の構造の違いを反映している．

$$\begin{aligned} \Delta R(\Delta x) &= \varepsilon^a \Delta x^{H_h}, \quad \Delta R(\Delta y) = \varepsilon^a \Delta x^{H_h}, \quad \Delta R(\Delta z) = \phi^b \Delta x^{H_v} \\ \Delta R(\Delta t) &= \varepsilon^d \Delta x^{H_t} \quad \dots \dots \dots (5) \end{aligned}$$

以上のモデルで，パラメータ  $\alpha, C_1$  は，通常 *double trace moment* 法（DTM: Lavallee, 1991）を用いて求められる．また， $H$  は，パワースペクトルを求めて算定される．

### (1) 空間的パラメータ：

データとして、三重県を中心とした  $128 \times 128$  個 (1メッシュは  $2.5\text{km} \times 2.5\text{km}$ ) のレーダーアメダス解析雨量を用いた。期間は2001年4月~2005年12月とした。この期間で、領域内の平均降水量 ( $128 \times 128$  個の降水量の平均値) が  $3 \text{ mm / hour}$  以上であった194枚のスキャンを選び、DTMを用いて  $\alpha, C_1$  を算定した。DTMの詳細はLavallee(1991)などを参照していただくとして、ここでは結果だけ示す。図1は、DTMで用いる  $\eta$  と  $K(\eta, q)$  の関係を示した図で、 $\alpha$  は、図の  $1 \leq \eta \leq 3$  あたり

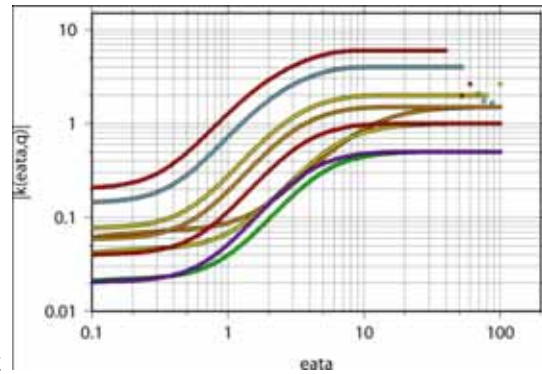


図1: 空間的パラメータ  $\alpha$  を求めるために  $K(\eta, q)$  をプロットした図  $q$  として  $0.5 \sim 4.0$  をとった。

の、各曲線 (複数あるのは、モーメントの指数を複数とるため) の傾きから求める。この関係より、 $\alpha = 1.3, C_1 = 0.18$  を得た。ここで、また、 $H$  については、次式(5)で算定される。

$$E(f) = f^{-\beta}$$

$$H = \frac{\beta - 1}{2} + \frac{C_1(2^\alpha - 2)}{2(\alpha - 1)}$$

$E(f)$  については図2で示すとおりである。これより  $H = 0.5$  を得た。

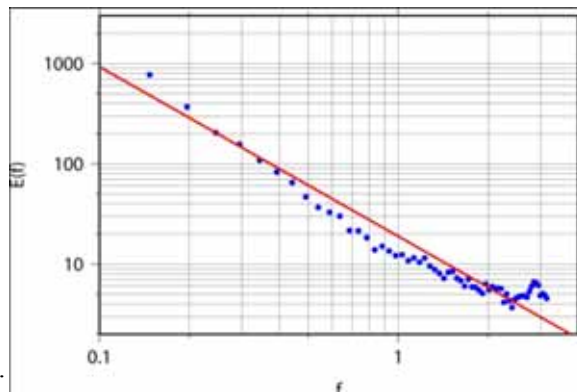


図2: 空間的パラメータ  $H_h$  を求めるために  $E(f)$  をプロットした図。

## (2) 時間的パラメータ:

空間的パラメータと同様に、 $\alpha, C_1, H$  を求めた。上述の194スキャンのうち、重複を避けて、各々、前後合計128時間分の時系列データを用いて解析を行った。 $128 \times 128$  の  $\alpha, C_1$  のうち、いくつかの計算結果を抽出して求めた平均値、標準偏差は、 $\alpha$  が  $0.46, 0.065$  で、 $C_1$  が  $0.43, 0.046$  であった。ただし、「前後128スキャン」の時系列を用いて算定した結果であり、降水量が0のデータを多く含んでいる。目的に応じて、データをもっと(32個、16個のように)少なく、降水量が0でない時系列データのみを選ぶと、 $\alpha, C_1$  の値は変わる。 $H$  についても空間的パラメータと同様に求め、いくつかの計算結果の平均値、標準偏差を求めると、 $0.54, 0.059$  となった。

## (3) シミュレーション:

以上より、 $\alpha = 1.3, C_1 = 0.30, H_h = 0.5, H_t = 0.5$  という値を用いて、 $128 \times 128 \times 128$  個のデータからなる時空間分布を生成させた。ここで、簡単のため、式(4)の  $\Delta R(\Delta x), \Delta R(\Delta y), \Delta R(\Delta t)$  について、同じ  $\varepsilon$  を用いており、また水平方向、時間方向に同じ  $H$  を使っている。つまり、時間的パラメータのうち  $\alpha, C_1$  は用いず、かつ、シミュレーションとし

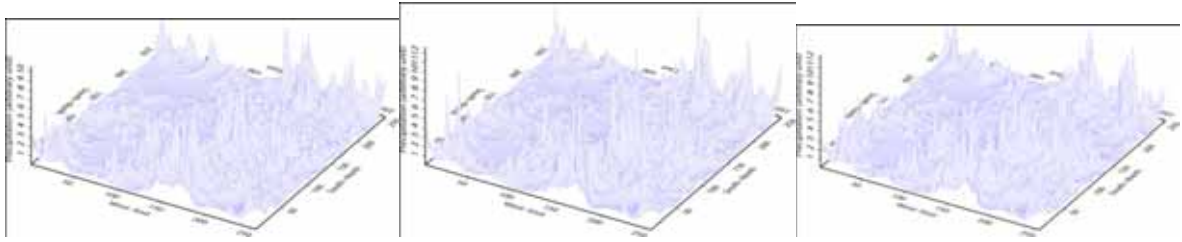


図3：左から右に降水量の空間場が徐々に変化している様子が見える。

ては、時空間方向に等方性を保った条件を用いている。図3は、上記の条件で2+1次元シミュレーションを行った結果のうち、連続する3つの時系列（的空間分布）を示したものである。このシミュレーションでは、実際は空間-時間の場合を等方性の条件を用いた。今後は、まずは時間軸方向だけ  $H$  を変えたシミュレーション、さらには、時間軸方向には空間分布と異なる *generator*（つまり異なる  $\alpha, C_1$ ）を用いたシミュレーションを行う手法を検討する。前者については、LovejoyらのGSIという概念で、実現は容易であるが、後者は若干困難である。

以後、同様の解析を、標高データを用いて行う。