

# 三重県地盤沈下調査研究会

## 平成18年度 調査研究報告書

2007年2月

## まえがき

本報告書は、三重県地盤沈下調査研究会が、平成 18 年度に三重県とその周辺地域の地盤・水文環境、水資源や災害の管理等について調査研究した結果をまとめたものです。

三重県北勢地域の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過去 40 年余で 1m を超えているところもあります。近年、この地域の地盤沈下の状況は、さまざまな規制等が功を奏してほぼ沈静化しています。規制地域の観測井での地下水位も緩やかですが上昇傾向にあります。

しかし、こうした地盤が低く軟弱な地域は、地震や津波等に対しても潜在的な危険をはらんでいます。さらに、台風や集中豪雨に伴う高潮や内水氾濫などの防災対策には、十分な注意を常に払っていかなければなりません。したがって、このような地域では今後も地盤沈下状況の調査研究を実施して、こうした成果をもとにした適切な対応を行うとともに、地下水採取の規制や地盤沈下による災害防止事業を今後も推し進めていく必要があります。

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 30 年余にわたり継続的に調査研究を行ってきました。平成 18 年度の主な調査研究は以下の通りです。

人工衛星の SAR(合成開口レーダー) 観測による地盤沈下抽出の新しい試みを実施するための予備的な研究では、特に SAR 電波の大気中の水蒸気による屈折等に伴う誤差評価を行っています。この人工衛星 SAR による地盤沈下抽出法が確立できれば、従来の水準測量成果に基づいた地盤沈下測定を補完したり、水準測量が難しい地域を含む調査対象地域全体の地盤環境変動を監視することも可能となるでしょう。

また、北勢地域の地下水を含む水循環システム解明のために、1991 年から継続実施されている自噴井の流出量や水温、電気伝導度、pH の計測調査の結果について述べています。幸い今のところは水質の著しい悪化はなく、地下水変化の環境への悪影響は認められていません。

次に、全国でも最大規模の海拔ゼロメートル地域の雨水対策、排水施設の整備状況、施設の維持管理などの調査を実施し、海拔ゼロメートル地域がかかえる雨水排水の問題点を浮き彫りにしています。

さらに、豪雨を対象とした降水量の確率的モデルについて、調査研究の成果を報告しています。三重県での年最大降水量等をもたらすような極端な降雨は、台風が大きく関わっていることを見いだしました。

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 19 年 2 月

三重県地盤沈下調査研究会  
会長 福山 薫

# 目 次

- 1 . 衛星干渉 S A R ( 合成開口レーダー ) 観測に及ぼす  
大気水蒸気の影響評価について

三重大学大学院 生物資源学研究科 教授  
福 山 薫

- 2 . 北勢地方の地下水

三重大学大学院 生物資源学研究科 助教授  
大 野 研

- 3 . 愛知県海部地域の海拔ゼロメートル地域における雨水排水の実態

三重大学大学院 工学研究科 教授  
浦 山 益 郎

- 4 . 三重県における陸域水循環モデル - 降水量の確立モデル -

三重大学大学院 生物資源学研究科 教授  
葛 葉 泰 久

衛星干渉 SAR(合成開口レーダー) 観測に及ぼす  
大気水蒸気の影響評価について

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

2007年2月

# 衛星干渉 SAR(合成開口レーダー) 観測に及ぼす 大気水蒸気の影響評価について

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

InSAR(干渉合成開口レーダー) はマイクロ波を利用して、対象物に直接接触することなく、計測を実施するリモートセンシング技術の一種である。これを利用して高精度に標高データや、地震、火山活動、地滑り、地盤沈下等の地殻変動や氷床変動などを測定できる。

マイクロ波が地球の大気内を伝搬するとき、大気に含まれる水蒸気との相互作用によって伝播遅延が発生する。これを大気遅延と呼ぶ。

大気遅延は、衛星干渉 SAR 観測に大きな誤差をもたらす要因の一つである。藤原ほか(1998)は、大気遅延の影響を低減するために、異なる時期の複数の観測データの平均化を行っている。これは数多くの観測データ得られた場合には有効であるが、観測頻度が少なく、地殻変動が断続的に続く場合は望ましくない。Delacourt et al.(1998)は、地上の気象データで近似するモデルを作成し、エトナ山地域の大気遅延を補正した。これに対して Williams et al.(1998)は、大気温度分布変化に伴う電波の屈折率変動成分(乾燥成分と呼ぶ)は地上気象データを用いて補正できるが、湿潤成分(対中の水分分布に伴う屈折率変動成分)については困難であり、水蒸気放射計やラジオゾンデ、GPS データ等を利用して補正されるべきであると提言している。

藤原ほか(1999)は、大気遅延が標高と線形な相関を持つと仮定して簡単な1次モデルを提唱している。これに基づいて、1シーン全体について同一の線形パラメータ

を用いて、岩手山地域の大気遅延を補正した。島田 (1999) は大気遅延位相差モデルを提案して、1 シーンで同じ全球客観解析データ (GANAL) を利用して富士山領域の大気遅延を補正した。この GANAL データと SAR データの取得時間の差は約一時間半である。

大塚ほか (2002) は、大気運動の理論計算に基づき、ラジオゾンデ高層気象観測データを用いて岩手山地域の風による水蒸気大気遅延を検討した。このラジオゾンデ観測地点と研究対象地域は約 140km 離れており、ラジオゾンデデータと SAR データの取得時間の差は約一時間半であった。出口ほか (2006) は、大気遅延と標高の 1 次線形式を求めて、1 シーン全体について異なる線形パラメータを用いて、水蒸気による局所的な大気遅延を補正した。

上にも述べたように、大気遅延は地表面の標高差や局所的な気象現象によって発生する (三尾ほか, 2004)。これまでの干渉 SAR に及ぼす大気遅延の研究は、主として標高差に対する大気遅延の補正である。したがって、SAR による観測領域内で得られる詳細な高層気象データを用いて、水蒸気による局所的な大気遅延を評価し、補正を加えることが大きな課題になっている。

1992 年から 1998 年にかけて、日本の JERS-1 衛星が地球を観測した。JERS-1 SAR データを用いて多くの地殻変動検出の成果が得られた。しかし、多くの JERS-1 SAR データは雨や雲がある気象条件で取得されている。例えば、1992~1998 年の間に濃尾平野上空で取得された 32 シーンの SAR 画像のうち、雨や雲がある気象条件のものは 38% を占めている。雨や雲がある条件下で取得されたデータを有効利用し、地殻変動検出の精度を高めるには、SAR 電波に対する水蒸気分布の影響を研究することがきわめて重要である。しかし、JERS-1 の観測期間 (1992~1998 年) には詳細な高層気象データがない。そのため局所的な水蒸気の影響を補正することは非常に困難になっている。

本研究は、高精度のメソ数値予報モデル GPV-MSM データを用いて、SAR 電波の水蒸気分布の影響評価への有効性を検証する。詳細な高層気象データがない時期の衛星 JERS-1 干渉 SAR データに対して、GPV-MSM データを用いて水蒸気分布の影

響を評価する方法を検討する。

## 2. 研究方法の概要

### 2.1 メソ数値予報モデル GPV (MSM) データ

2002年7月から気象庁はメソ数値予報モデル GPV-MSM データを提供している。これは、地表面と 975 ~ 100 hPa までの高度に対して、鉛直 15 層の数値情報データセットである。地表面データは、水平方向が、緯度方向 0.1 度、経度方向 0.125 度の格子 (約 10 km) で、海面更正気圧、風速 (南北・東西成分)、気温、相対湿度、降水量、雲量 (上中下層) のデータ要素を含み、これらのデータが 1 時間毎に作成されている。高層の各等圧面データは、水平方向が緯度方向 0.2 度、経度方向 0.25 度の格子 (約 20 km) で、3 時間間隔で作成されている。データ要素のジオポテンシャル高度、風速 (南北・東西成分)、気温については、100 hPa までの鉛直構造が 14 層である。また、相対湿度と上昇流については、300 hPa までの鉛直分布が 10 層である。

本研究では、JERS-1 の日本付近でのデータ取得時刻は午前 10 時 30 分頃なので、午前 9 時の GPV-MSM データを用いた。

### 2.2 類似天気図法

大気の状態は、地球上の場所によって異なるのは当然であるが、同一の場所でも同じ季節でも決して同じではない。しかし、その変動は毎年、ある一定の幅のなかであり、1 年の周期で繰り返すのが普通であり、それが平均的な気候と呼べる。

福井ほか (1979) によれば、気候とは、ある場所または地域において基本的には 1 年の周期で毎年順を追って繰り返される最も確率の高い大気の総合状態である。こうした概念に基づいて、ある日 (たとえば今日) の天気図とよく類似したものを過去の天気図から選び出して、その時の気象変化から、ある日のその後の予報を行えるとした類似天気図法という天気予報のひとつの方法がある (和田, 1969)。

本研究では、こうした天気予報原理に基づいて、類似天気図法を次のように用いる。

まず JERS-1 データ取得日 (Xとする) の天気図とよく似た 2003 年以降のある日 (GPV-MSM データが存在。Yとする) の天気図を捜し出す。異なる 2 つの日 (Xと Y) の天気状態が同じであると仮定して、JERS-1 データが取得された X の日の気象状態を Y の日の GPV-MSM データから復元する。これらのデータから大気遅延量を推定し、衛星干渉 SAR に対する水蒸気分布の影響を評価する。

本研究では、単純な類似天気図の手法だけでなく、評価の精度を高めるために次のような条件も付加している。

1. 2 つの日の地上天気図が類似している。
2. 2 つの日が同じ季節である。
3. 対象地域では地表面観測の気象要素が類似している。
4. 対象地域付近の高層気象観測データが類似している。

こうした条件を満たす GPV-MSM データは、JERS-1 データ取得日の気象状態をある程度反映できると考えられる。

### 2.3 大気遅延量の推定方法

島田 (1999) は、全球客観解析気象データを用いて大気位相遅延量を補正する方法を提案し、大気位相遅延量を次の式 (1) で表している。本研究も、この式に対して GPV-MSM データを適用して大気遅延量を推定する。

ここに、 $\theta_0$  は衛星点におけるオフナディア角、 $n_{m,i}, n_{s,i}$  はマスター、スレーブ画像の第  $i$  大気層の屈折率、 $r_i$  は第  $i$  層の層厚である。また (2) 式は屈折率の経験式であり、 $p, T, e$  はそれぞれ大気圧 (hPa)、気温 (K) 水蒸気圧 (hPa) を表す。(2) 式の右辺第 1 項と第 2 項は、各気温に依存する静水圧項成分 (dry component) と温度、水蒸分圧に依存する湿潤成分 (wet component) である。



### 3. 解析結果

#### 3.1 干渉画像

本研究の予備的な干渉解析で使用した衛星 JERS-1SAR 観測の異なる日からなるペアは、1998年6月19日と1998年5月6日のものである。SAR データ処理には、JAXA/EORC で研究開発された SIGMA-SAR プロセッサを用いた。

得られた差分干渉位相図(第1図)には、軌道縞と地形縞は前処理で除去されている。地形縞の除去には、国土地理院発行の50mメッシュの数値標高モデル(DEM)を利用した。このから、西北部と東南部で位相変化が大きく、視線距離が伸びていることがわかる。干渉画像で示される観測対象地域は、濃尾平野の中心部に位置しており、西北の小さい山地(標高約500~600m)以外はほぼ平坦である(第2図)。

#### 3.2 GPV-MSM データの選択

ここでは、JERS-1 観測日の1998年6月19日と1998年5月6日の干渉ペアを例として、メソ数値予報モデル GPV (MSM) データを利用する類似天気図法について検討する。

GPV-MSM データを選択する手順は、次の5つの過程からなる。

1. JERS-1 の観測日 (X) の地上天気図を用意する。
2. 2003 年次降で類似の天気図 (Y) を見出す。
3. X と Y の両日の名古屋と四日市の地表気象データ (気温、海面更正気圧、水蒸気圧) を比較する。
4. 観測日 (X) の潮岬・浜松でのラジオゾンデ高層気象観測データと (3) で見出した日 (Y) の GPV-MSM データを 925h、850、800hPa の等圧面で気象要素 (気温、ジオポテンシャル高度、水蒸気圧) を比較する。
5. 最類似日を決定し、Y の日の GPV-MSM データを取得する。

これらの手順 (1) ~ (5) を繰り返すことにより、天気図・地表気象データ・高層等圧面気象データを総合的に精査し、さらに風向・風速データを参考にして、最も類似する GPV-MSM データを選択する。

第 3 図と第 4 図は、手順 (1) で得た 1998 年 6 月 19 日と 1998 年 5 月 6 日の天気図である。1998 年 6 月 19 日は、各地に大雨を降らせた梅雨前線上の低気圧が日本を横断して三陸沖の方へ進んだ。一方、1998 年 5 月 6 日は日本の南海上に梅雨前線が停滞しており、東海地域は曇りである。

第 5 図と第 6 図は、手順 (2) で見出した天気図である。これらの天気図は、2004 年 5 月 16 日 (第 5 図) が 1998 年 6 月 19 日に、2004 年 5 月 27 日 (第 6 図) が 1998 年 5 月 6 日に類似しているとされたものである。

さらに、第 1 表は、手順 (3) による地表面気象観測データの比較である。1998 年 6 月 19 日と 2004 年 5 月 16 日の地表面気象観測データについて、名古屋と四日市ともに、気温差は 4.2 、海面更正気圧の差は 2.3hpa 以下、水蒸気の差は 7.5 以下である。1998 年 5 月 6 日と 2004 年 5 月 27 日については、名古屋と四日市での気温差は平均値が 3.6 、海面更正気圧の差は 1.5hpa 以下である。水蒸気の差は両観測点での平均値が 2.8 である。1998 年 6 月 19 日と 2004 年 5 月 16 日、1998 年 5 月 6 日と 2004 年 5 月 27 日の地表面気象状態は大幅なずれはなく、類似しているといえる。

第 2 表は、手順 (4) による高層気象観測データの比較を示す。1998 年 6 月 19 日と 2004 年 5 月 16 日の高層気象データについて、潮岬と浜松の各等圧面の気温差は 0.2 ~ 2.60C(平均値が 1.00C) になり、ジオポテンシャル高度の差を平均すると 14m 以下である。水蒸気圧の差は 1.0 ~ 4.5 で、平均値が 2 に達しない。

一方、1998 年 5 月 6 日と 2004 年 5 月 27 日の高層気象データについては、潮岬と浜松で各気圧面の気温差は 0.5 ~ 4.40C(平均値が 2.60C) で、ジオポテンシャル高度の差は平均値が 7.7 である。水蒸気圧の差は 2.0 ~ 6.6 で、平均値は 4.2 である。

潮岬と浜松の高層気象データの比較によれば、1998 年 6 月 19 日と 2004 年 5 月 16 日の両日と、1998 年 5 月 6 日と 2004 年 5 月 27 日ともによく類似しているといえる。

### 3.3 水蒸気分布の復元

2004年5月16と2004年5月27日のGPV-MSMデータを用いて、1998年6月19日と1998年5月6日の水蒸気分布を復元する。GPV-MSMデータは地表面から高度約300hPaまでの間が複数の層で構成されるので、これらの層厚内の水蒸気分布をもとに、伝播遅延をもたらす湿潤大気の高度変化を求める。なお、水蒸気分布は、比湿(水蒸気量の表し方の一つで、湿潤空気1kg中に含まれる水蒸気の質量(g)である)で表現する。地表面から高度300hPaまでの比湿の積分量は、対流圏の水蒸気のほぼ全量を表している。

第7図と第8図の図中の青線枠内の範囲(以下では解析地域と呼ぶ)は、第1図と同じ領域である。第7図からわかるように、2004年5月16日と2004年5月27日の水蒸気分布はかなり異なり、2004年5月16日の解析地域内の平均水蒸気量は、2004年5月27日の約1.7倍である。

第8図に示すように、解析地域内では2つの観測時期で水蒸気量の差の分布は不均一で、図の中心から西部と東部にやや増加する傾向があり、西北部の最小値(41g/kg)と東南部の最大値(49g/kg)の差は8g/kgである。

第10図に示すように、2004年5月16日と2004年5月27日の温度は、高度とともに減少するが、両日の温度差は高度に対してほぼ同じで線形的に増加する傾向が認められる。一方、両日の水蒸気圧はどちらの日も、高度とともに著しく減少する(第11図)。水蒸気圧の両日間の差は標高に対して地表面から850hPaまでは増加傾向を示すが、850hPaを境に逆転し、この高度より上では減少している。

### 3.4 大気遅延量の推定

第9図の大気遅延量の計算は式(1)を利用して、鉛直方向に高度300hPaまで、JERS-1のSARレーダー波入射方向の遅延量を求めた。レーダー波入射方向は天頂から約35度傾いた方向である。大気遅延量(片道視線距離の差)の解析地域内での最大値は37.5cmである。解析地域内の水平分布では、最大差が3.2cmで、西部と東南

部で著しく大きい。

第 12 図は、高度 300hPa から地表面までの大気遅延量の累積を示す。これからわかるように、大気遅延は高度に対して二次関数的に減少している。大気遅延の大半は、水蒸気による湿潤大気遅延である。乾燥大気遅延（主として温度の高度変化に伴う屈折率の変化に対応すると考えられる）は、高度に対して線形的に増加しており、湿潤遅延の影響をわずかながら相殺する傾向がみられる。高度 500hPa 以上の大気層による遅延量は、総累積遅延量の 12% である。これに対して、500hPa から 900hPa までの大気層からの寄与率は 75% を占め、900hPa 以下の層からは 13% である。大気遅延量の高度変化は、地表面から 850hPa まで増加する傾向があり、850hPa 以上で逆転して、これより上の層では遅延量は減少傾向を示す。

第 1 図に示した差分干渉位相図の解像度は約 60m である。これに対して、第 9 図の大気遅延量分布推定は、水平解像度は約 20km であるそこで、JERS-1 の差分干渉位相図（第 1 図）と大気遅延量分布推定（第 9 図）の水平方向の空間変化パターンを次の方法で比較した。まず、第 1 図の線分 A, B, C, D に沿って大気遅延位相を示すデジタルナンバー断面図を求めた。実際の実データのままではノイズも大きく、第 9 図との直接的な比較は困難なので、近隣の 25 ピクセルを移動平均した。これにより得られたのが、第 13 図 (a) である。一方、第 13 図 (b) は、本解析で GPV-MSM データを利用して推定した大気遅延量の、同じ線分 A, B, C, D に沿って得られた断面図である。

## 4. 考察

### 4.1 干渉 SAR の大気遅延

第 1 図に見られるように、本研究で予備的に選んだ JERS-1 観測データのペアからは、西北部と東南部で位相変化が大きい。

濃尾平野での水準測量成果によれば、これらの干渉ペアが取得された期間内に顕著な地殻変動が観測されていない。本解析地域は、第 2 図に示したように西北の小さい

山地を除けばはほぼ平坦である。したがって、標高差に伴う大気遅延と地殻変動による影響は小さく、無視してよい。

JERS-1 SAR で観測されたそれぞれの日の天気は、1998年6月19日は雨、1998年5月6日は曇りである。両日の気温や海面更正気圧、降水量などの気象要素は異なり、水蒸気分布は両日でかなりの差があることが分かった(第1表)。したがって、水蒸気分布の違いによる大気遅延が生じて、それが差分干渉位相(第1図)に大きく影響している可能性が高い。

## 4.2 類似天気図法

上記に述べた(1)から(4)までの手順により、天気図だけでなく地表面気象データや高層気象データを総合的に精査して、さらに風向や風速のデータを参考して、1998年6月19日は2004年5月16日の、1998年5月6日は2004年5月27日の気象状態に最も類似することが確認された。JERS-1の観測日の気象条件と最も類似している日のGPV-MSMデータを用いれば、気温や水蒸気分布などの気象要素をもとにして、これらが大気屈折率に与える影響を見積もることができる。ここで得られたGPV-MSMデータは、JERS-1データ取得日の気象状態をある程度反映していることも上で示した。

日本付近でのJERS-1のデータ取得は、午前10時30分頃である。GPV-MSMデータは、地表面が1時間間隔で、高層の各等圧面が3時間間隔で取得できるので、午前9時のデータを用いた。これは、ラジオゾンデ観測も毎日、同じ午前9時になされているので都合がよい。本研究で提案した類似法は、詳細な高層気象観測データを用いてSAR電波の大気遅延の影響を評価する重要な一つの方法であるが、より精度の高い遅延量推定値を得ることは今後の課題となる。

### 4.3 水蒸気の影響評価

2004年5月16日と2004年5月27日のGPV-MSMデータを用いて、それぞれ1998年6月19日と1998年5月6日の水蒸気分布を再現した。両日の水蒸気量の差の分布を示したのが第8図から、水蒸気分布は空間的にかなり不均一であることが分かった。

推定した大気遅延量(第9図)は、衛星干渉SARに対する水蒸気分布の影響を定量的に表すことが確かめられた。推定した大気遅延量の水平空間分布は、かなり不均一で、解析地域内では最大差が3.2cmにもなる。

と第9図に示したように、両観測日の水蒸気量の差(第8図)と大気遅延量の推定値(第9図)との相関分析結果によると、大気遅延量推定値と両観測日の水蒸気量の差は、有意な高い相関が得られた(相関係数は0.813で1確かに、両観測日の水蒸気量の差が大きいと大気遅延量が増加する。

復元した両観測日の水蒸気量の差と推定した大気遅延量の分布は、1998年月19日と1998年5月6日の差分干渉SAR位相の空間分布パターンと、特に解析対象地域の東南、東北、南北の部分でたいへん良く類似している。

したがって、水蒸気分布の違いによる大気遅延が、第1図に示した1998年月19日と1998年5月6日の差分干渉位相に大きな影響を与えている可能性が高いことは明らかといえよう。しかし、第1図の西北部分では位相変化が大きいが、復元した両観測日の水蒸気量の差(第8図)と推定した大気遅延量(第9図)の西北部分で著しく変化していない。これはこの地帯に比較的高い山地があり、地表との標高差によって大気遅延が発生したためともかんがえられよう。つまり、第1図の干渉画像位相は、地表面との標高差によって発生する位相変化と局所的な気象現象によって発生する位相変化のを含んでいる。これに対して、復元した両観測日の水蒸気量の差(第8図)と推定した大気遅延量(第9図)は水平変化しか表していないのである。

大気遅延は各気温に依存する静水圧項と温度、水蒸分圧に依存する湿潤大気成分を含む。静水圧項遅延量と両日の温度差は標高に対して線形増加の傾向がある。両日の

水蒸気圧の差は標高に対して地表から 850hPa まで増加する傾向があり、850hPa 以上で逆転する。各層の湿潤項遅延量は同様に变化する。両日の 850hpa 高度以下の大気状況は水蒸気の水平分布に主な影響を与えることが明らかになった。

第 13 図で見たように、差分干渉位相パターンと推定した大気遅延量のパターンの概観や傾向にはかなり一致している。しかし、局所的には差分干渉位相断面図の凹凸変化が推定した大気遅延図の中には見られないこともある。この原因は、JERS-1 の観測日と、これに対応した日の GPV-MSM データの気象要素は近似しているものの、厳密にはある程度の違いが存在することがある。さらには、GPV-MSM データの空間分解能が JERS-1 SAR データのそれに比べて粗いことも、その原因とであろう。

## 5. 結論

今回の予備的な研究では、詳細な気象データが存在しない時期の衛星干渉 SAR 観測結果に対して、類似天気図法を援用して近年の GPV-MSM データを用いることによって水蒸気分布の影響を評価する試みについて検討した。

高精度の GPV-MSM の水蒸気分布を用いれば、SAR 電波の大気遅延の影響を評価は可能なはずである。また、類似天気図法は、高精度の高層気象データの存在しない時期の衛星 JERS-1 干渉 SAR の大気遅延の評価に有効に利用できる可能性も示唆した。これを、GPV-MSM データのある 2003 年以後の衛星干渉 SAR にてきようすれば、本研究の成果を生かすことができる。干渉 SAR による地殻変動の検出精度を高めるためには、水蒸気分布による大気遅延を補正することが重要であるといえよう。

本調査研究は、高知女子大学大村誠教授との共同研究成果の一端である。本稿をまとめるにあたり、同教授及び三重大学大学院生物資源学研究科博士後期課程大学院生鄭敏学氏の多大な協力を得た。深く感謝を申し上げたい。

SIGMA-SAR processor は宇宙航空研究機構地球観測利用推進センターの島田政信博士からご提供いただき。お礼申し上げます。なお、JERS-1 SAR データの所有権は経済産業省および宇宙航空研究開発機構にある。

## 【参考文献】

Delacourt, C., P. Briole and J. Achache (1998), Tropospheric correction of SAR interferograms with strong topography: Application to Etna, *Geophys. Res. Lett.*, 25, 2849-2852.

Fujiwara, S., P. A. Rosen, M. Tobita and M. Murakami (1998), Crustal deformation measurements using repeat-pass JERS-1 synthetic aperture radar interferometry near Izu Peninsula, Japan, *J. Geophys. Res.*, 103, 2411-2426.

藤原智・飛田幹男・村上亮 (1998), 干渉 SAR による水蒸気情報の重要性, *気象研究ノート GPS 気象学* (内藤勲夫編), 192, 199-212.

藤原智・飛田幹男・村上亮・中川弘之 (1999), 干渉 SAR による地表変動検出精度向上のための基線値推定法と大気 標高補正, *測地学会誌*, 45, 4, 315-325.

福山薫・大村 誠 (2001), 濃尾尾平野における地盤沈下研究への InSAR 適用の検討, *東京大学地震研究所共同利用 (研究集会) 「Lバンド干渉 SAR の重要性」*

福井英一郎・吉野正敏 (1979), *気候環境学概論*, 1-19.

小林茂樹・大塚彰・瀬古弘 (2001), 干渉 SAR における軌道推定と大気遅延分布の特定, *東京大学地震研究所共同利用 (研究集会) 「Lバンド干渉 SAR の重要性」*

三尾有年・大林成行・黒台昌弘 (2004), 国土防災分野を対象にした InSAR の標準化に向けての検討 *国土防災リモートセンシング研究会インタフェロメトリ WG 活動報告*, *日本リモートセンシング学会誌*, 24, 315-319.

大塚彰・小林茂樹 (2002), 干渉 SAR の風による遅延パターンと気象数値実験, *写真測量とリモートセンシング*, 41, 20.

島田政信 (1999), SAR 干渉処理における軌道誤差と大気位相遅延の補正方法 *地殻変動検出への応用*, *測地学会誌*, 45, 327-346.

市川隆一・田中寅夫 (1998), 大気遅延とマッピング関数, *気象研究ノート*, 192, 35-48.

和田英夫 (1969), *長期予報新講*, 125-129.

Williams, S., Y. Bock and P. Fang (1998), Integrated satellite interferometry: Tropospheric noise, GPS estimates and implications for interferometric synthetic aperture radar products, *J. Geophys. Res.*, 103, 27051-27067.



## 表のタイトル

第 1 表 地表面気象観測データの比較

第 2 表 高層気象観測データの比較

## 図の説明

第 1 図 差分干渉位相図。濃尾平野を解析地域として、1998 年 6 月 19 日と 1998 年 5 月 6 日の SAR 観測結果をペアにして差分干渉位相変化を計算した。DN は、差分干渉位相を示すデジタルナンバー

第 2 図 解析地域の地形図 菱形は名古屋と四日市の位置。図中の数字の単位は 0.1m

第 3 図 1998 年 6 月 19 日の天気図

第 4 図 1998 年 5 月 6 日の天気図

第 5 図 2004 年 5 月 16 日の天気図

第 6 図 2004 年 5 月 27 日の天気図

第 7 図 水蒸気量分布図

(a) 2004 年 5 月 16 日, (b) 2004 年 5 月 27 日。地表面から 300hpa 高度まで鉛直方向に 10 層の比湿の積分値。図中の数字の単位は g/kg。十字の交点是对応点の位置を示す。

第 8 図 水蒸気量の差分図

2004 年 5 月 16 日の各格子点での水蒸気量と 2004 年 5 月 27 日の値の差から得られた水蒸気量分布。図中の数字の単位は g/kg。十字の交点是对応点の位置を示す。

第 9 図 大気遅延量の分布図

2004 年 5 月 16 日と 2004 年 5 月 27 日の GPV-MSM データを用いて、それぞれ 1998 年 6 月 19 日と 1998 年 5 月 6 日の水蒸気遅延量の空間分布を再現した。図中の数字の単位は cm。

#### 第 10 図 温度の高度変化

は 2004 年 5 月 16 日 (1998 年 6 月 19 日の類似日) の温度、 は 2004 年 5 月 27 日 (1998 年 5 月 6 日と類似日) の温度、 は両日 (2004 年 5 月 27 日と 2004 年 5 月 16 日) の温度差を示す。図中のデータは各層の温度の平均値である。

#### 第 11 図 水蒸気圧の高度変化

は 2004 年 5 月 16 日 (1998 年 6 月 19 日と類似日) の水蒸気圧、 は 2004 年 5 月 27 日 (1998 年 5 月 6 日と類似日) の水蒸気圧、 は両日 (2004 年 5 月 27 日と 2004 年 5 月 16 日) の水蒸気圧差を示す。図中のデータは各層の水蒸気圧の平均値である。

#### 第 12 図 大気遅延量の高度変化

は湿潤遅延量 (wet)、 は乾燥遅延量 (dry)、 は大気遅延量の総量 (total = wet + dry) を示す。図中のデータは各層の遅延量の平均値である。

#### 第 13 図 差分干渉位相量水平方向変化の断面図

- a) 第 1 図中の直線 A、B、C、D に沿った大気遅延位相を示すデジタルナンバーの変化
- b) 第 1 図中の直線 A、B、C、D に沿った大気遅延量推定値の変化

$$\phi = -4\pi \frac{2}{\lambda_0 \sin 2\Theta_0} \sum_i (n_{m,i} - n_{s,i}) \Delta r_i \quad (1)$$

$$n - 1 = \frac{77.6}{T} P \cdot 10^{-6} + \frac{0.373}{T^2} e \quad (2)$$

第 1 表 地表面気象観測データの比較

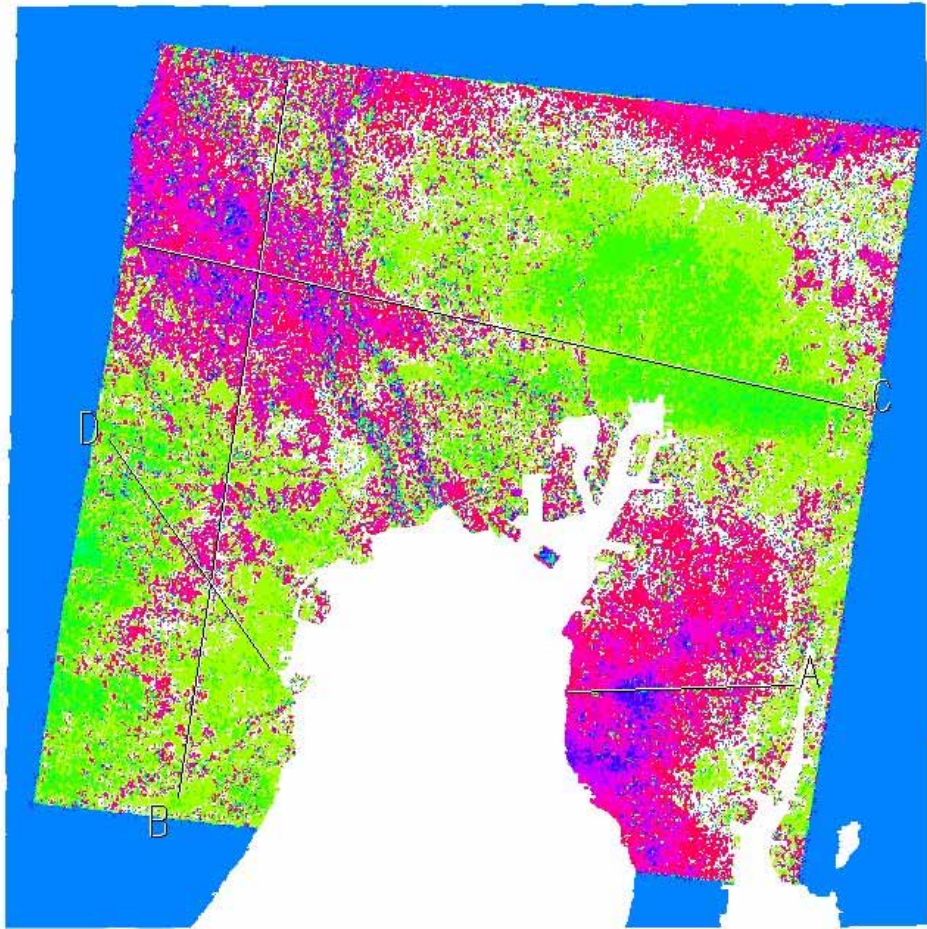
日付	名古屋			四日市		
	P(hpa)	T( )	E(hPa)	P(hpa)	T( )	E(hPa)
19980619(X)	1007.4	21.9	25.5	1006.8	22.1	26.6
20040516(Y)	1008.7	17.7	18.8	1009.1	17.9	19.1
差(X-Y)	1.3	4.2	6.7	2.3	4.2	7.5
19980506(X)	1023.7	20.6	19.2	1023.7	17.9	20.5
20040527(Y)	1022.2	23.3	16.9	1022.5	22.4	17.3
差(X-Y)	1.5	2.7	2.3	1.2	4.5	3.2

T-気温( ) P-海面更正気圧(hPa) E-水蒸気圧(hPa)

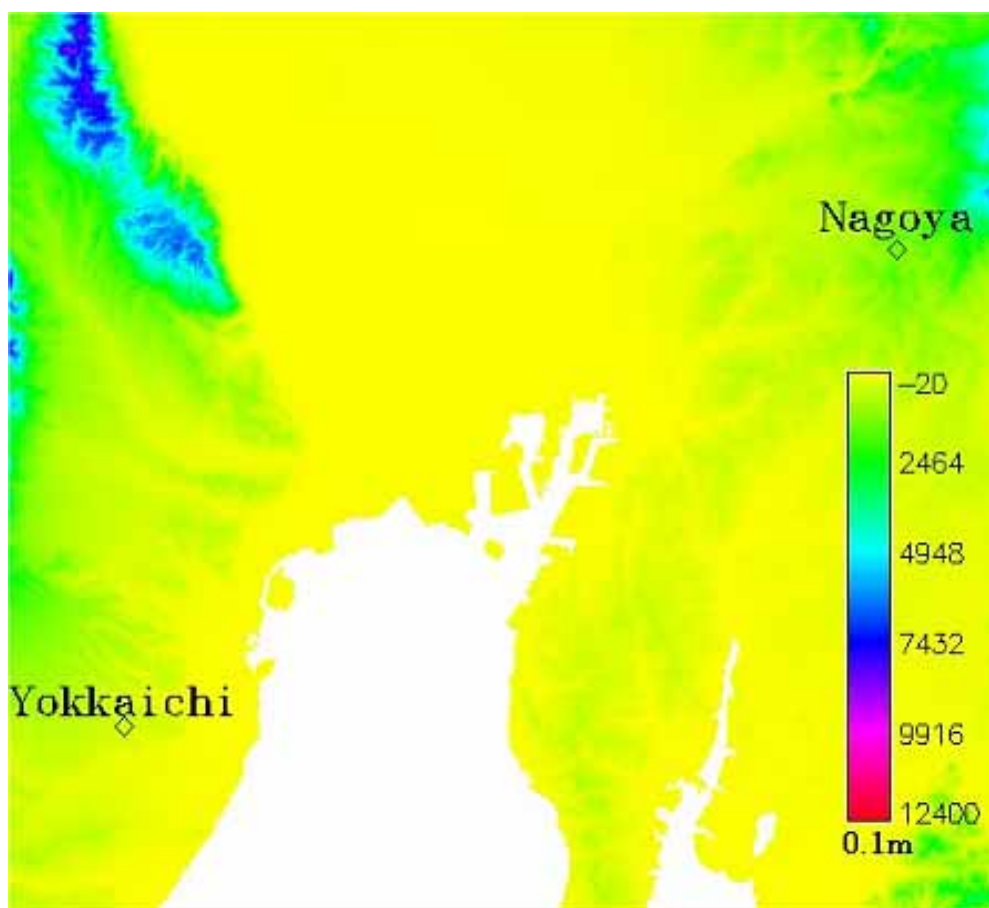
第2表 高層気象観測データの比較

潮岬									
Date	925hPa			850hPa			800hPa		
	T(°C)	A(m)	E(hPa)	T(°C)	A(m)	E(hPa)	T(°C)	A(m)	E(hPa)
19980619(X)	21.1	747.0	24.5	17	1477	19.4	13.4	1993	14.9
20040516(Y)	18.5	767.0	20	14.9	1489	15.9	12.9	2001	14.6
差(X-Y)	2.6	20.0	4.5	2.1	12	3.5	0.5	8	0.3
19980506(X)	17.0	858.0	18.6	13.5	1577	15.0	11.1	2086	12.7
20040527(Y)	14.9	856.0	14.2	10.1	1566	8.4	6.7	2067	9.4
差(X-Y)	2.1	2.0	4.4	3.4	11	6.6	4.4	19	3.3
浜松									
19980619(X)	19.1	747.0	20.8	16.1	1473	17.2	13.8	1988	14.8
20040516(Y)	18.9	762.0	20.1	15.7	1486	16.1	13.4	2000	13.5
差(X-Y)	0.2	15.0	0.7	0.4	13	1.1	0.4	12	1.3
19980506(X)	14.9	857.0	15.6	12.1	1572	13.0	9.6	2078	10.2
20040527(Y)	15.4	866.0	10.7	10.2	1577	9.2	6.3	2078	8.2
差(X-Y)	0.5	9.0	4.9	1.9	5	3.8	3.3	0	2

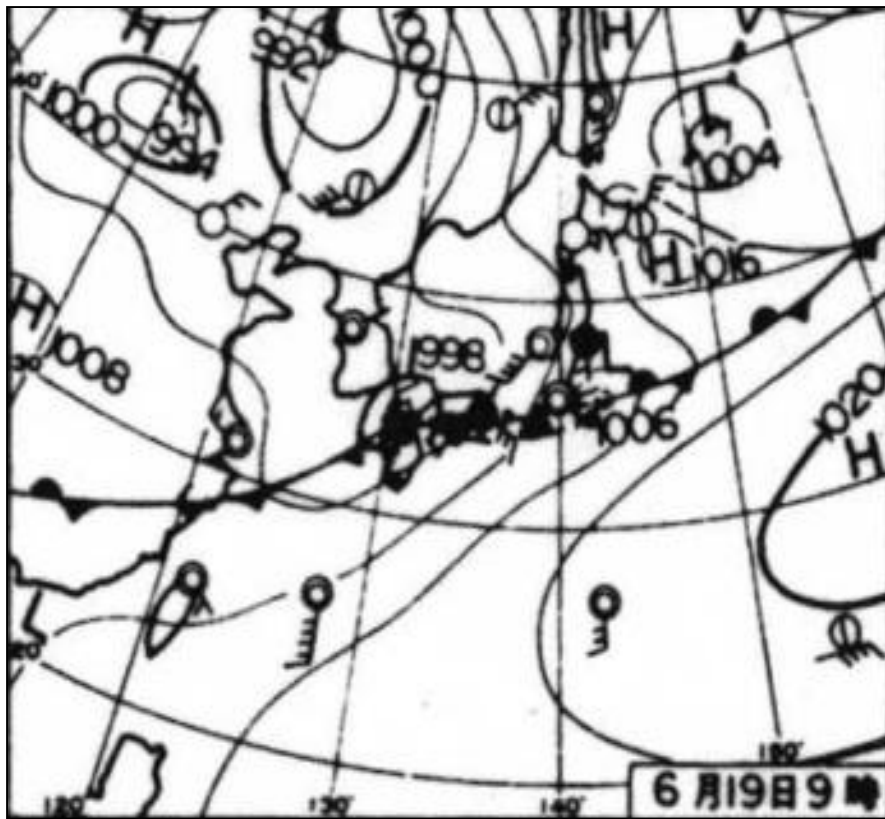
T-温度(°C) A-ジオポテンシャル高度(m) E-水蒸気圧(hPa)



第 1 图 差分干涉位相图

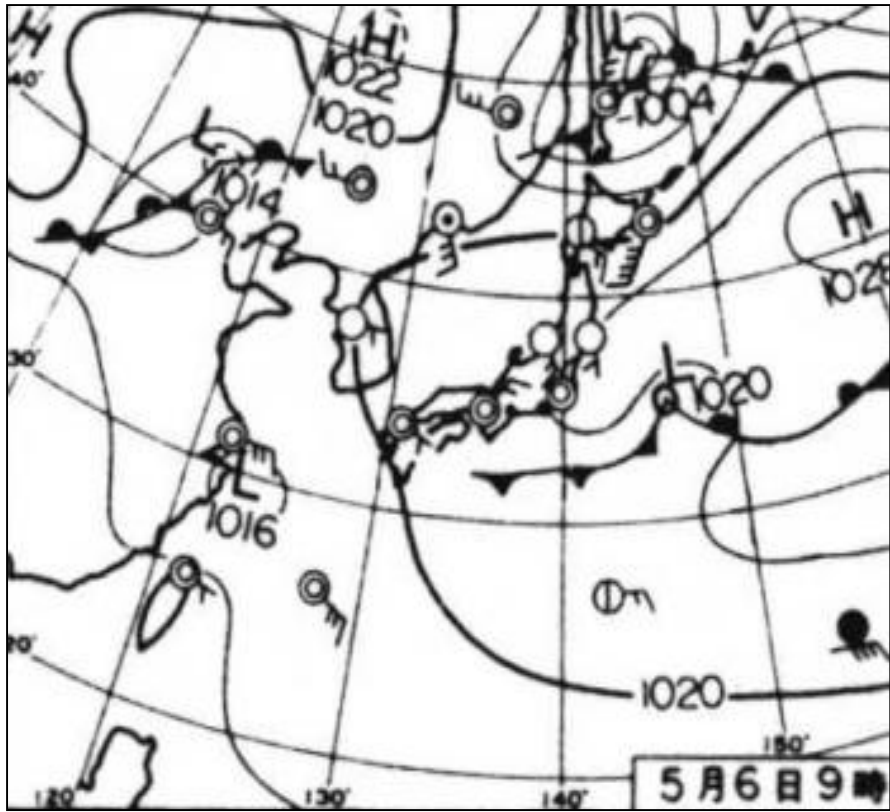


第 2 図 研究地域の地形

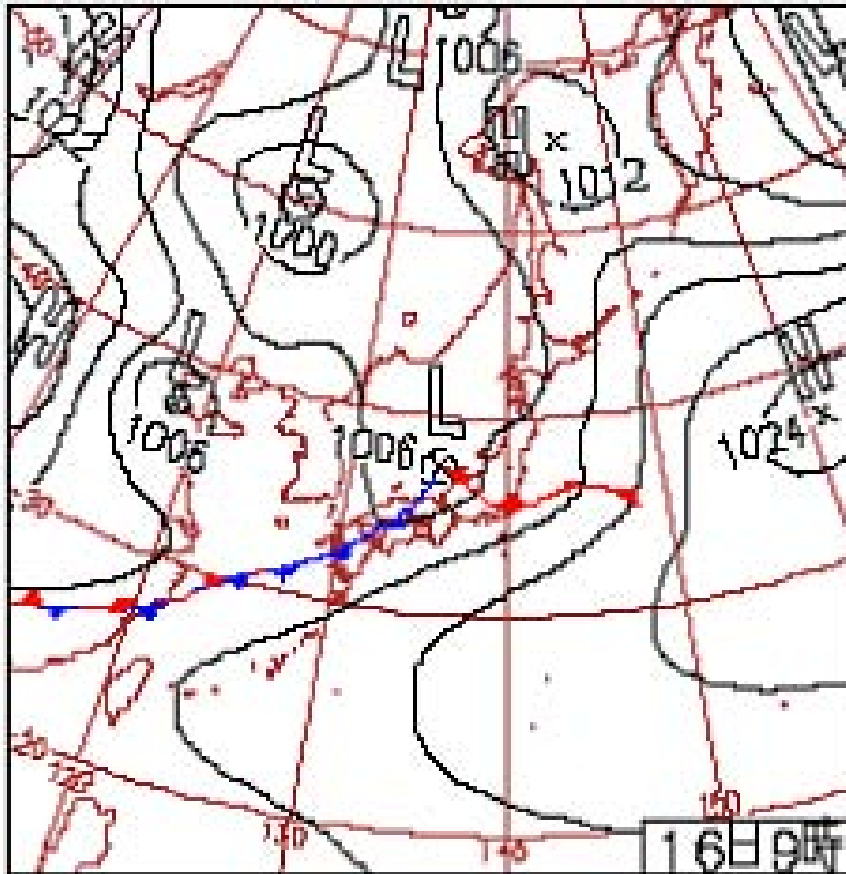


第3図 1998年6月19日の天気図

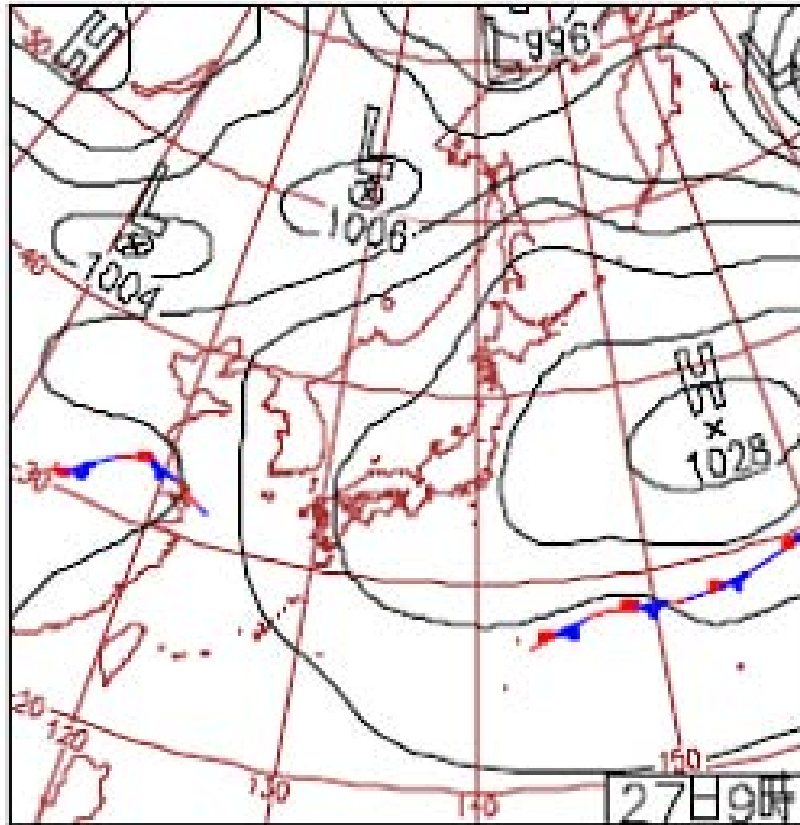




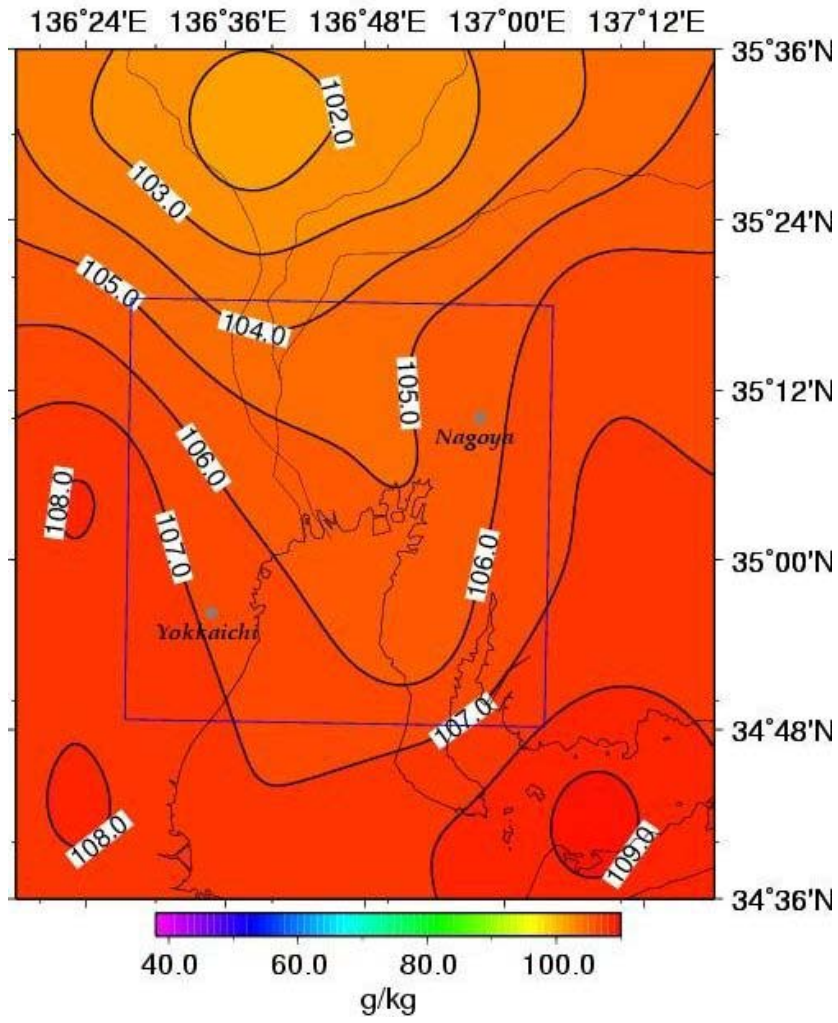
第 4 図 1998 年 5 月 6 日の天気図



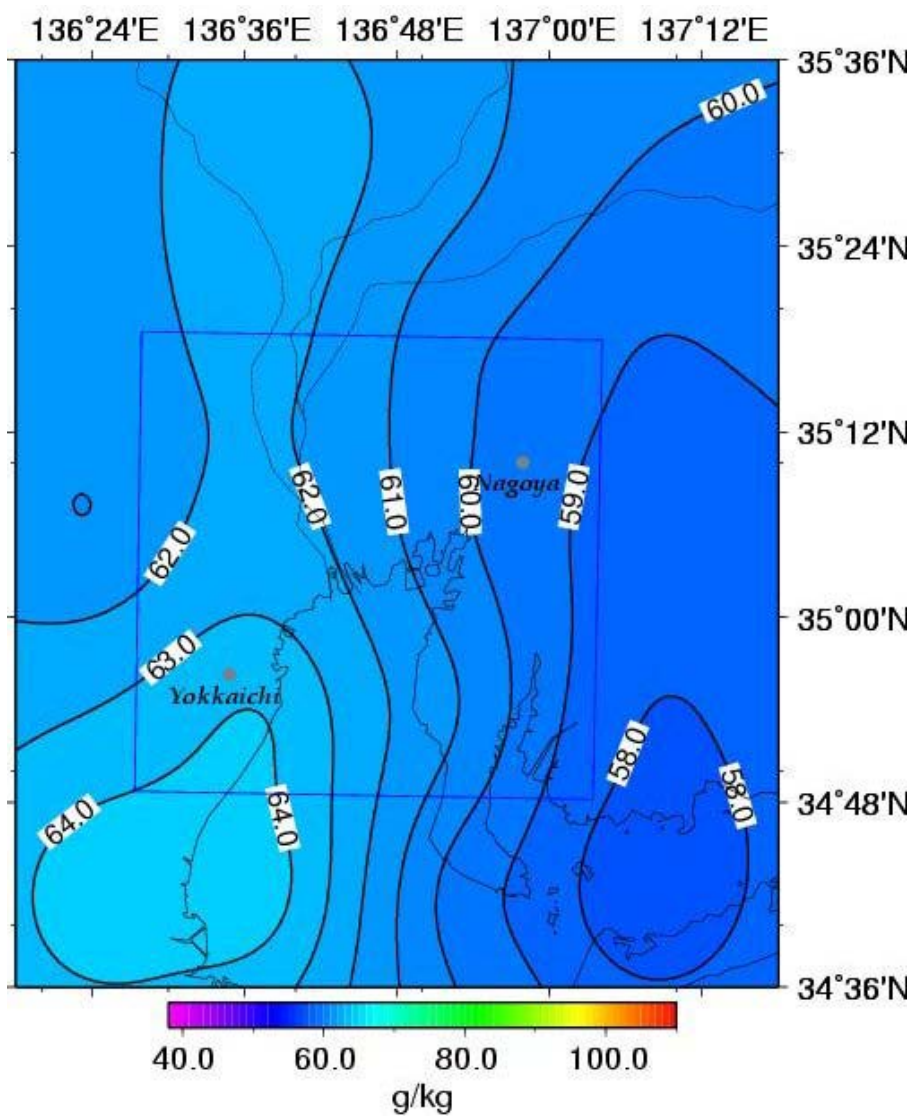
第 5 図 2004 年 5 月 16 日の天気図



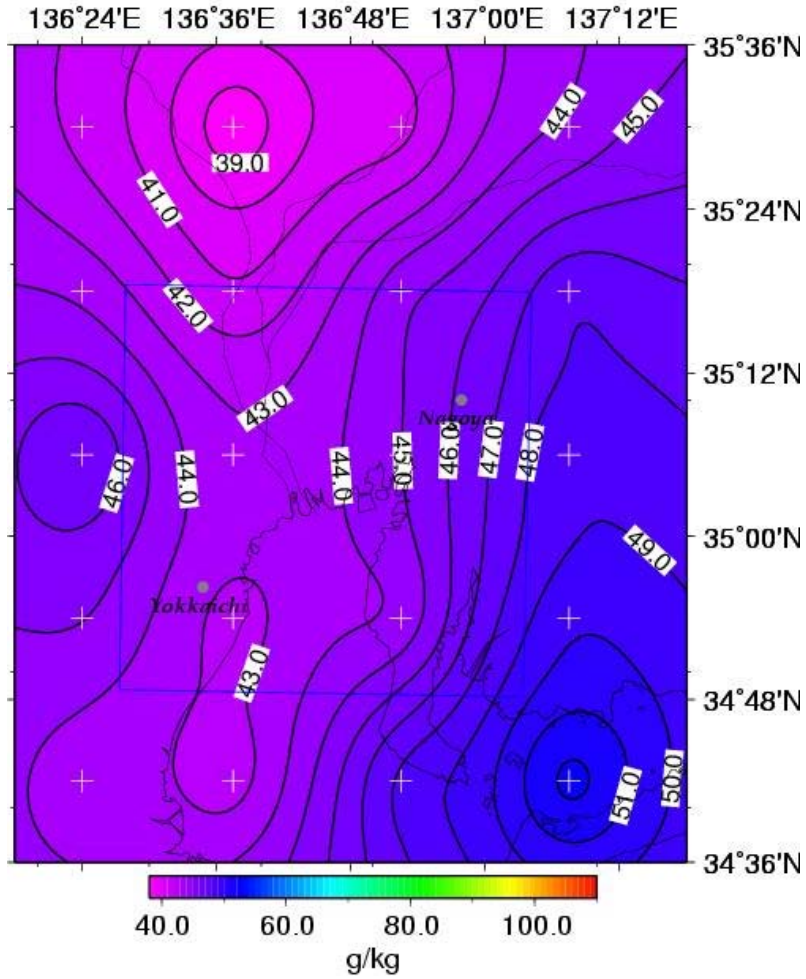
第 6 図 2004 年 5 月 27 日の天気図



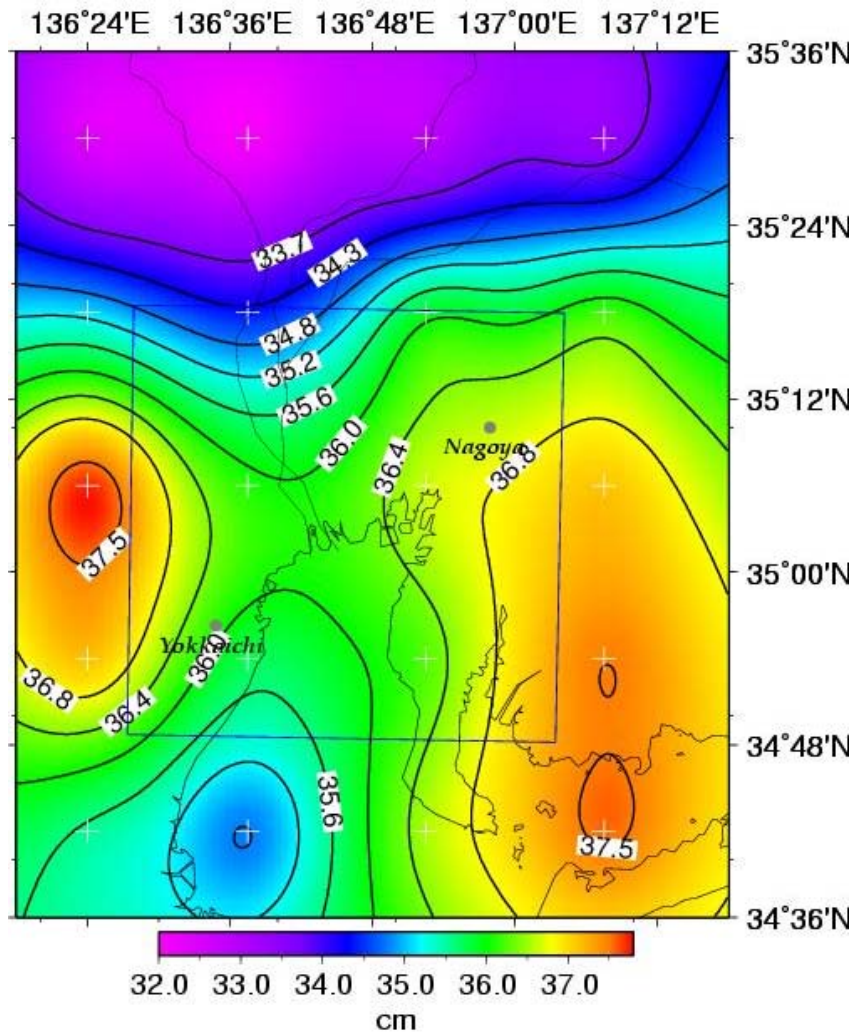
第 7 図 (a) 2004 年 5 月 16 日



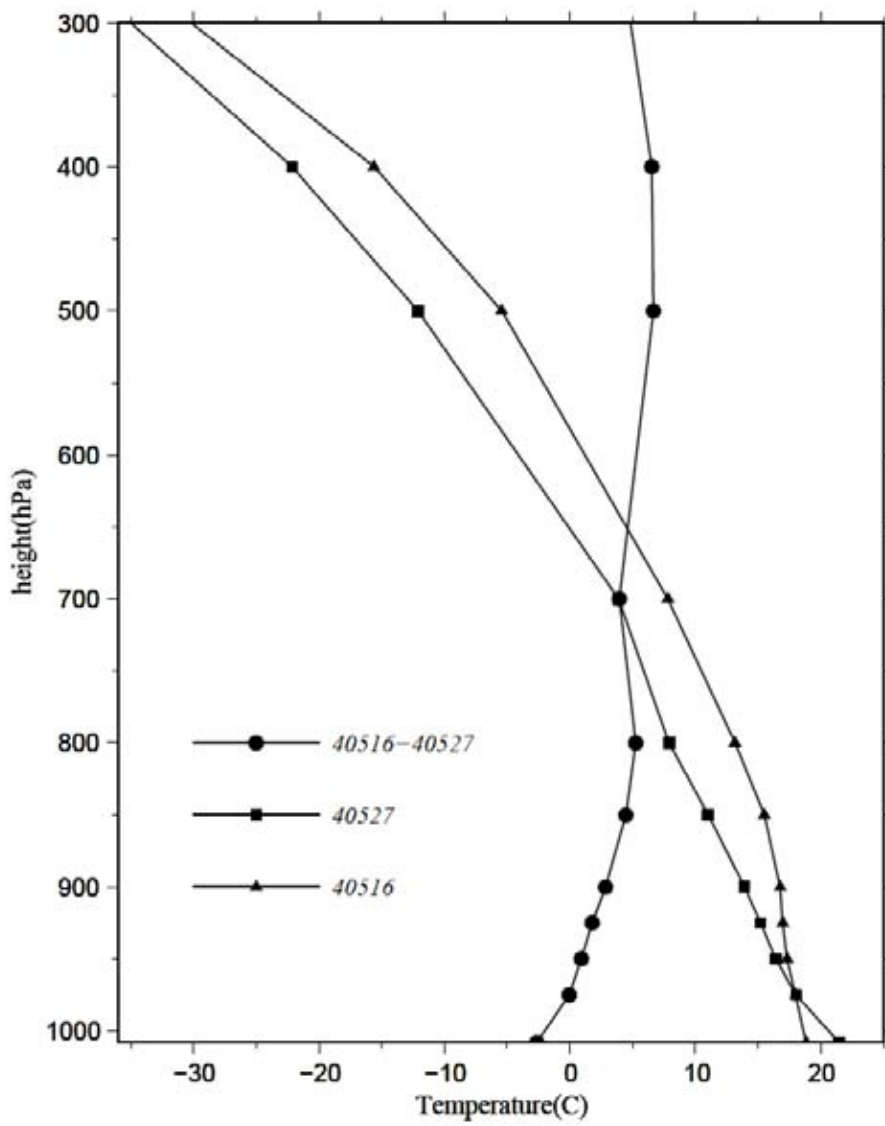
第 7 図 (b) 2004 年 5 月 27 日



第 8 図 水蒸気量の差分図

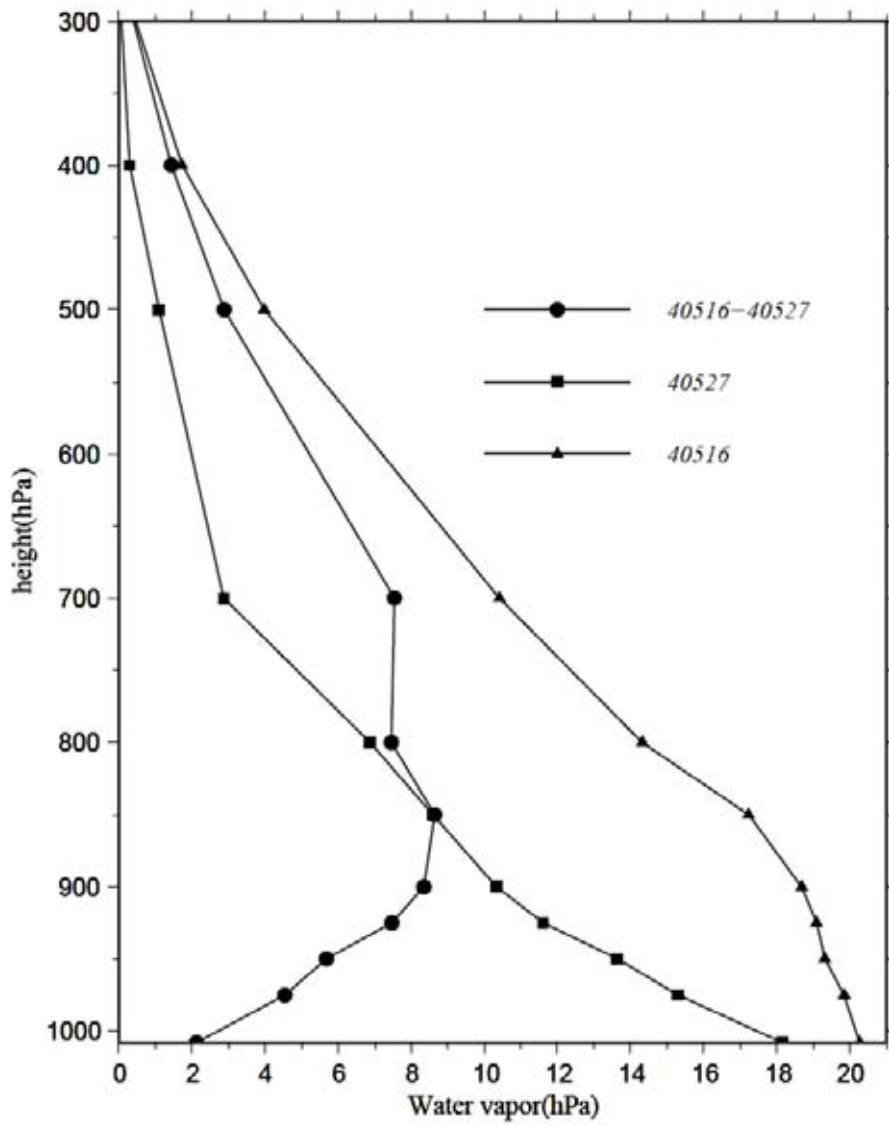


第 9 図 大気遅延量の分布図

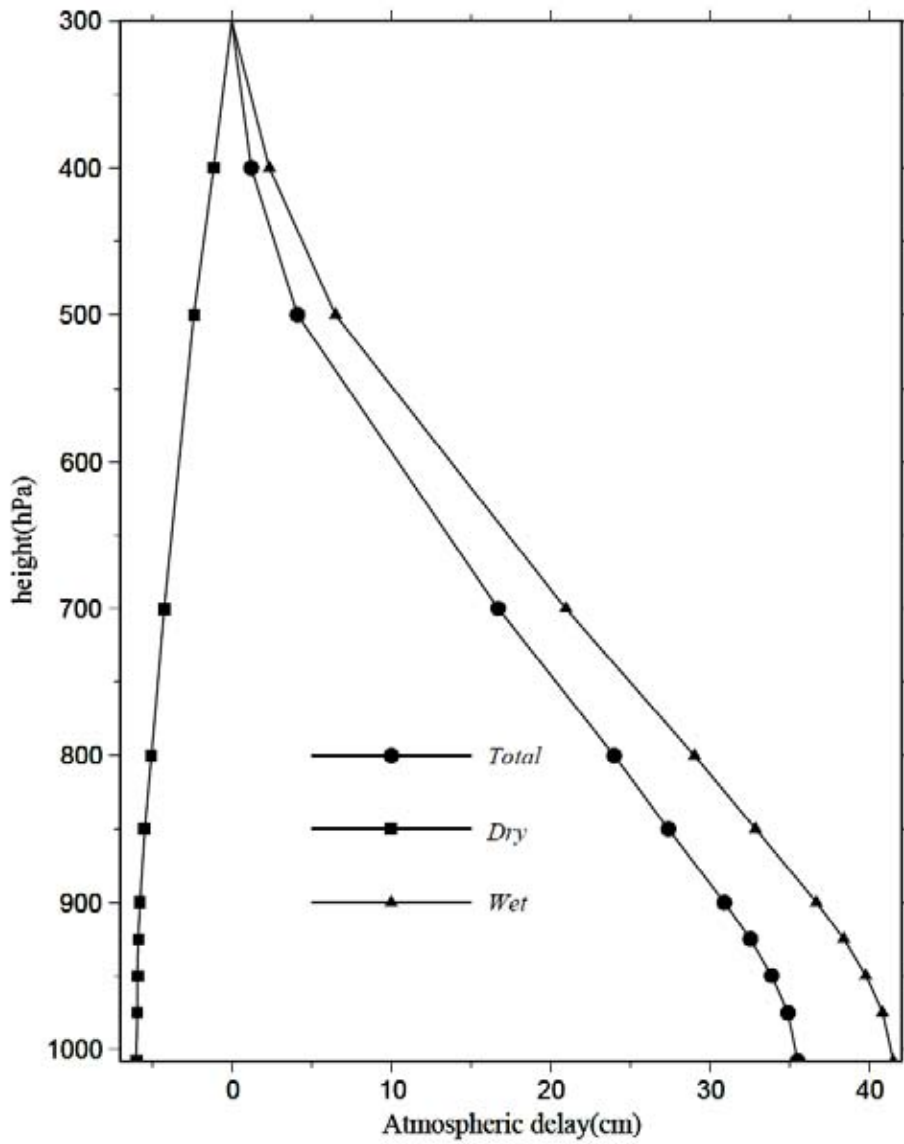


第 10 図 温度の標高変化

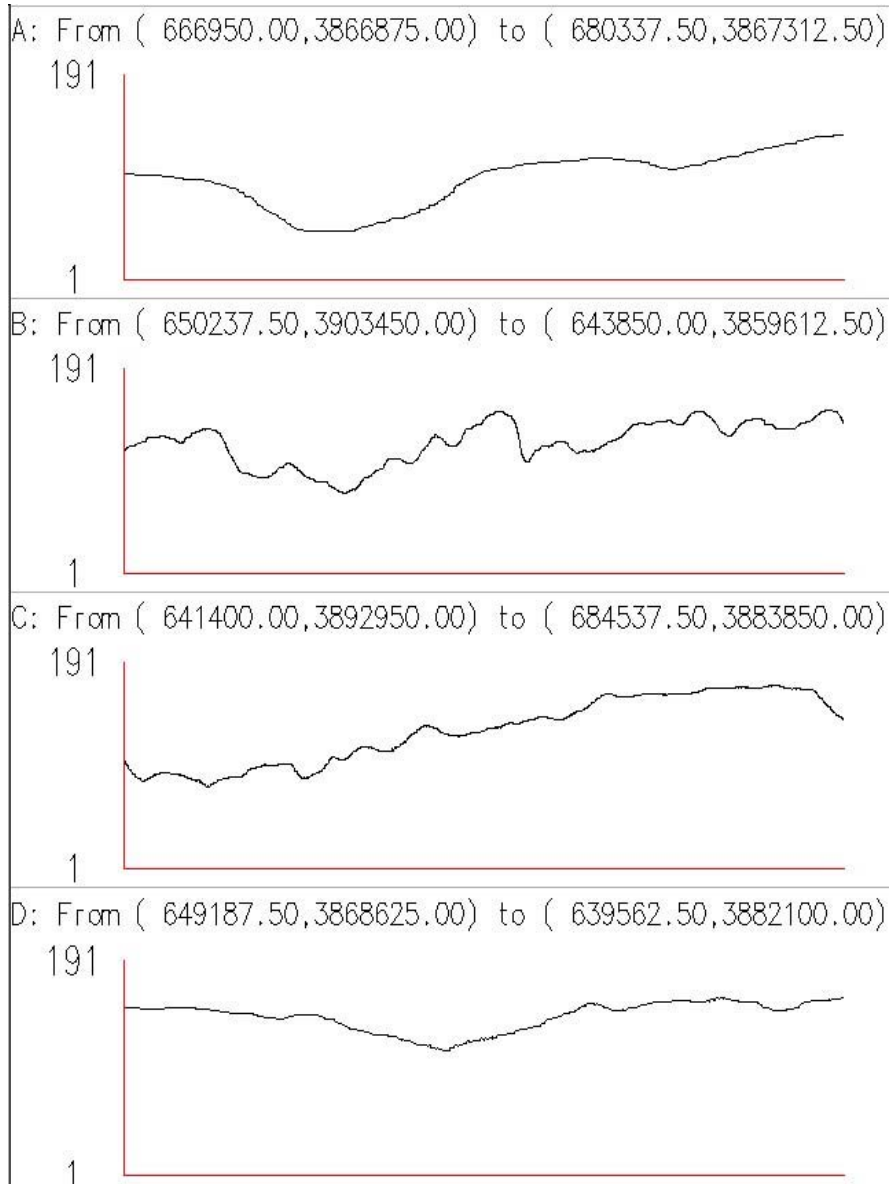




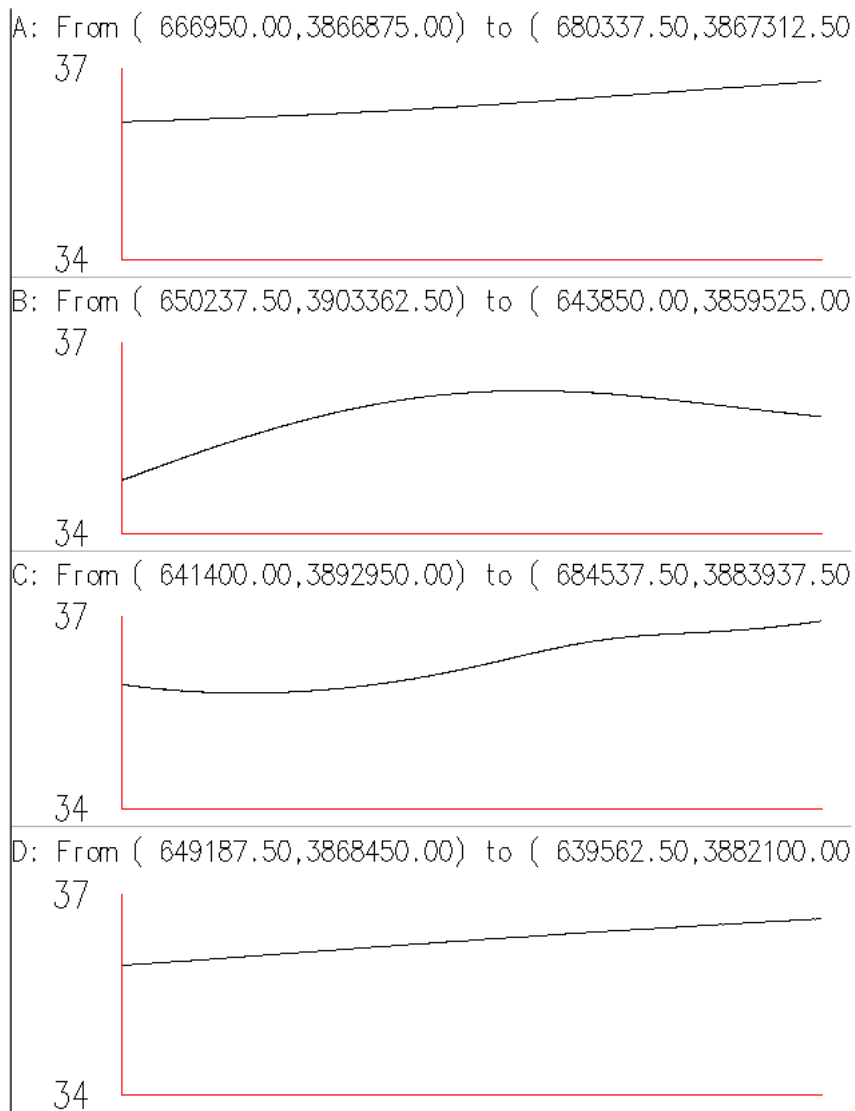
第 11 図 水蒸気圧の標高変化



第12 図 大気遅延量の標高変化



第 13 図a 差分干渉位相の断面図



第 13 図 b 推定した大気遅延量の断面図

# 北勢地方の地下水

平成19年3月

三重大学

大野 研

## 0. 序章

当方では、1991年度に三重大学近藤武名誉教授らによって始められた、北勢地方の地下水挙動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、電気伝導度を計測している。健全なる水循環を考えると、地下水への水の涵養、流動、流出を考えることが重要になる。また、このような長期的継続的な観測は、今後重要となる地下水の管理のための基礎データとなり、異常が発生したときの警報としても有用に働く。そこで、継続している地下水調査について報告する。一昨年度7月からはさらに、pHの測定を始めているので、併せてそれも報告する。

### 1. 地下水調査の概要

- 調査地点：従来は10カ所の自噴井であったが、諸般の事情で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。

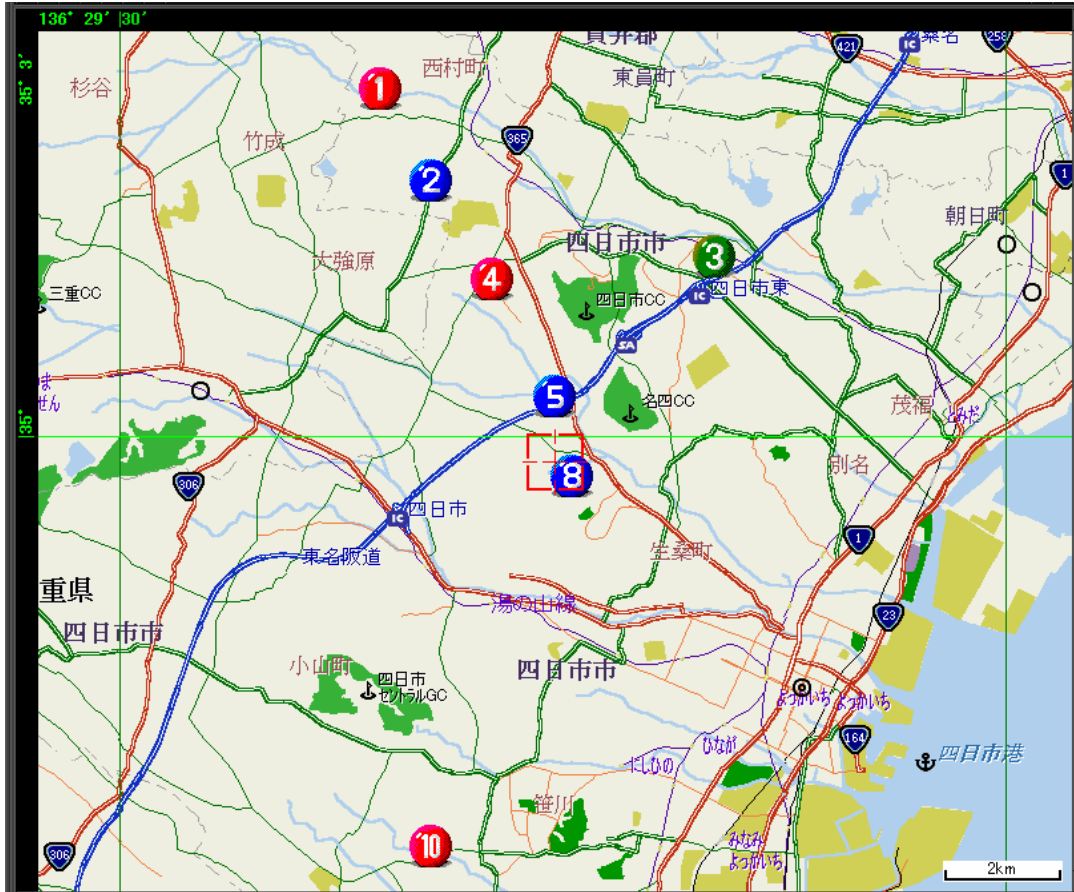


图 1 測定自噴井位置

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 2007 年 2 月までの自噴量の変化を示す。

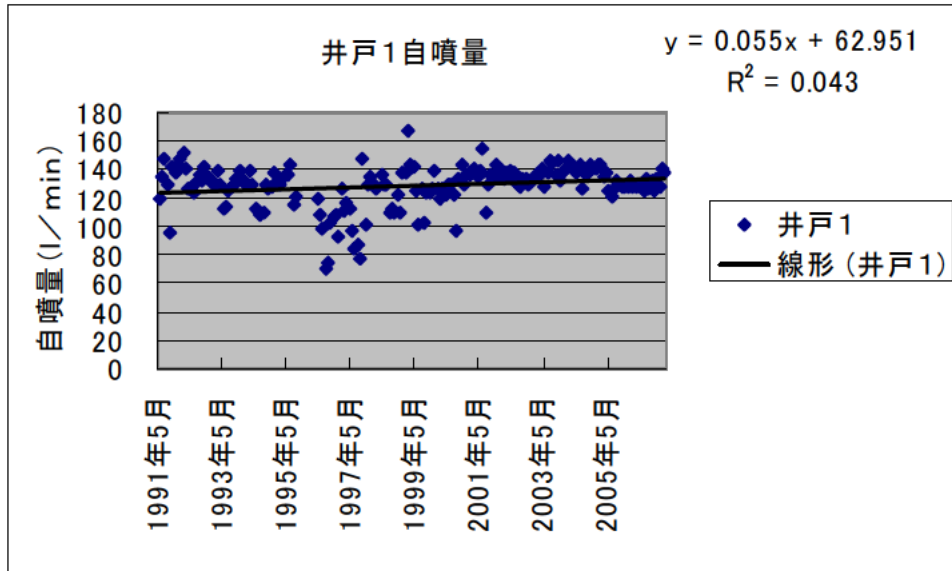


図 2-1 自噴井 1 の自噴量変化

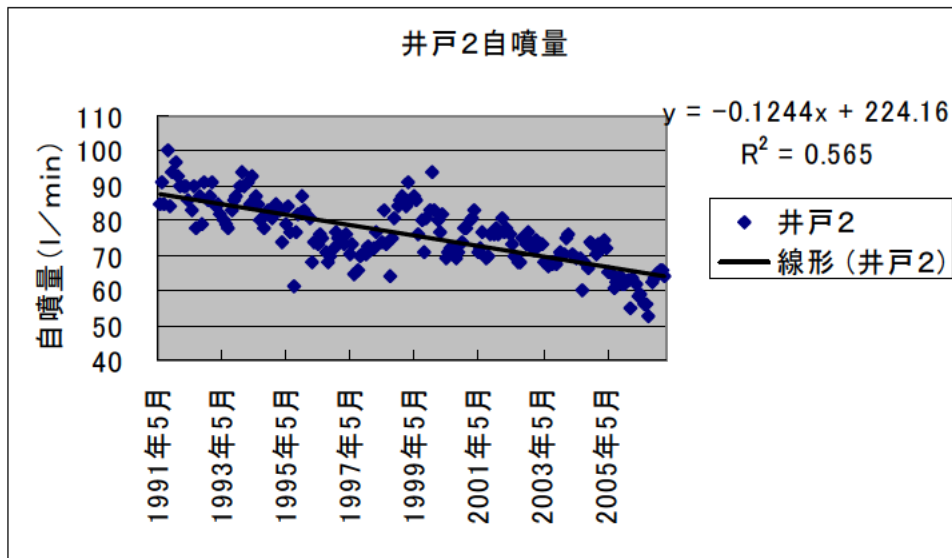


図 2-2 自噴井 2 の自噴量変化

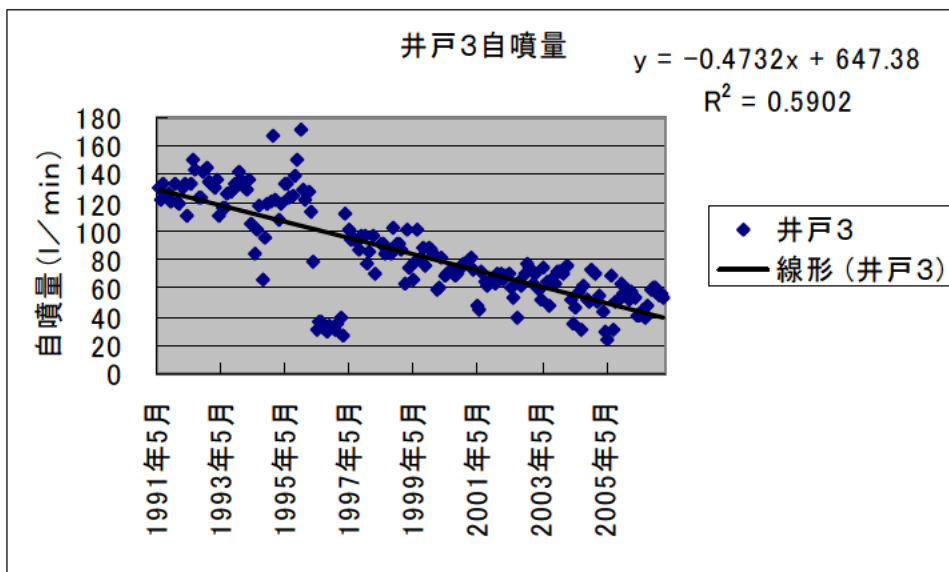


図 2-3 自噴井 3 の自噴量変化

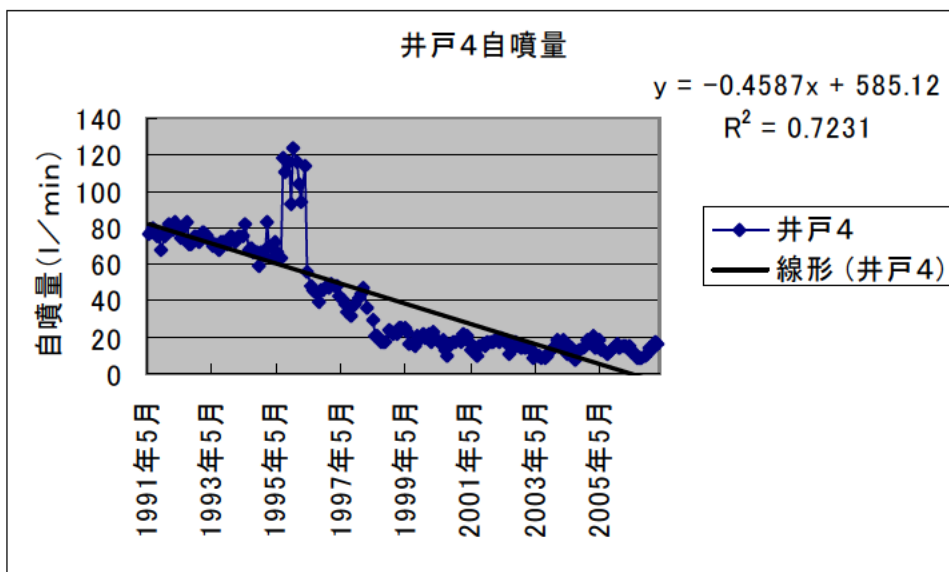


図 2-4 自噴井 4 の自噴量変化

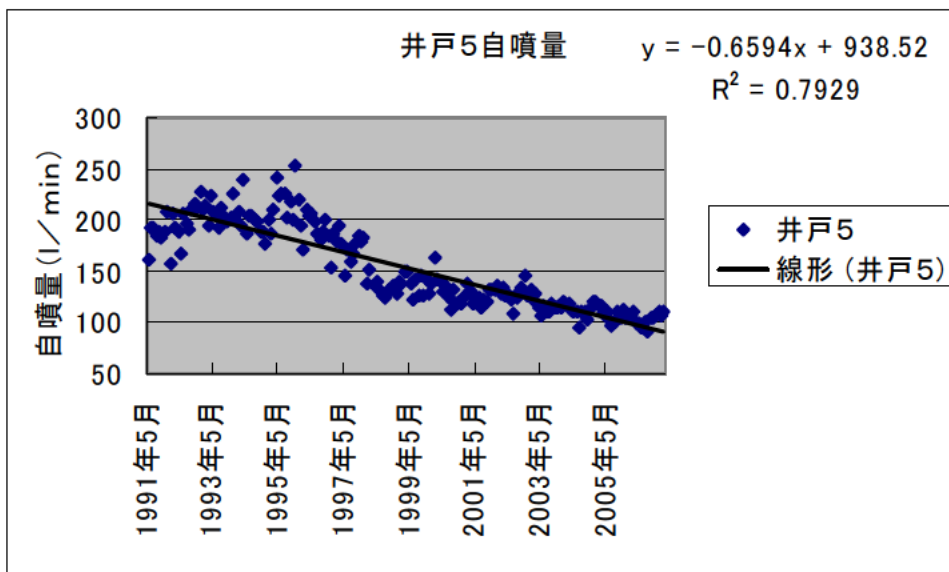


図 2-5 自噴井 5 の自噴量変化

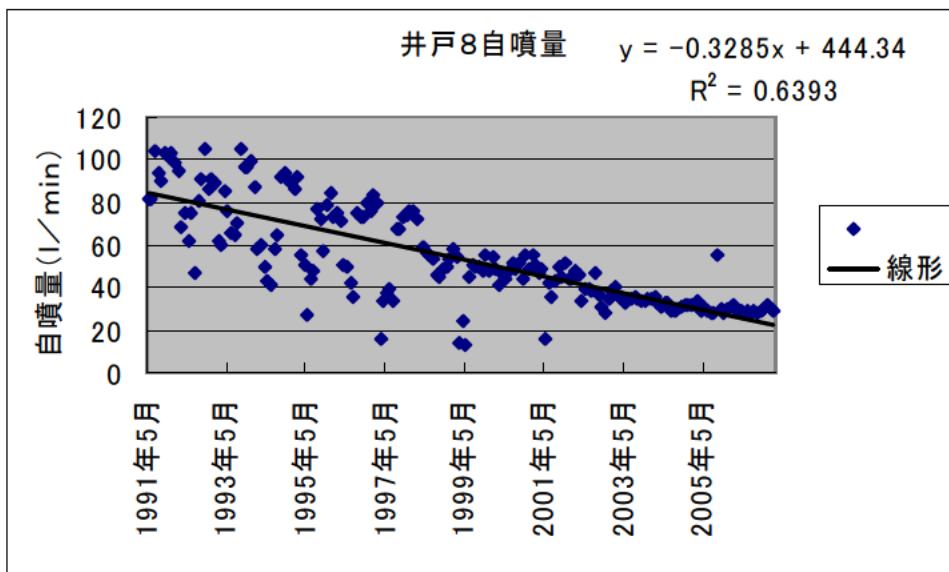


図 2-6 自噴井 8 の自噴量変化

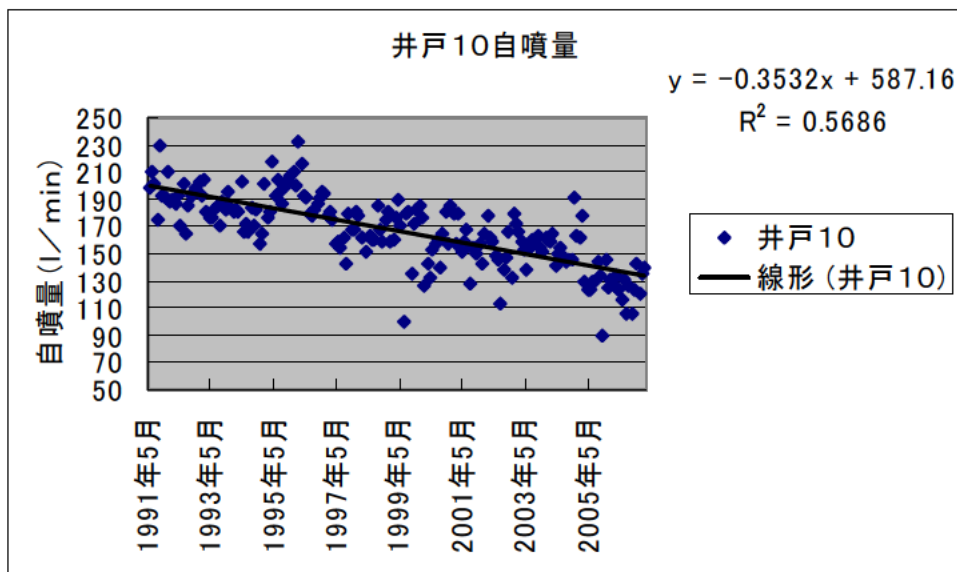


図 2-7 自噴井 10 の自噴量変化

これらの図から従来と同じように、自噴井 1 を除いて、いずれの井戸の自噴量も長期的には減少傾向を示していることが分かる。しかし、ここ数年に注目してみると井戸 4、5、8 などでは、減少傾向が弱まってきているように感じられる。

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。

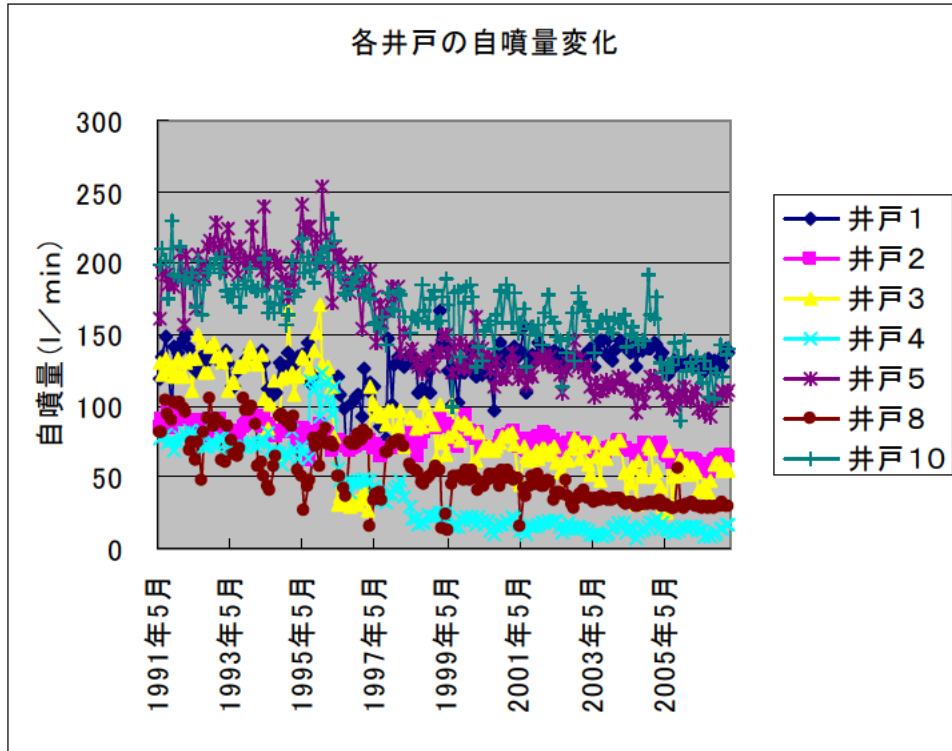


図 2-8 各井戸の自噴量変化

この図から見ても分かるように、いずれの井戸も 1999 年 5 月あたりから減少傾向を弱めているように見える。

地下水の監視という意味では、地下水の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。

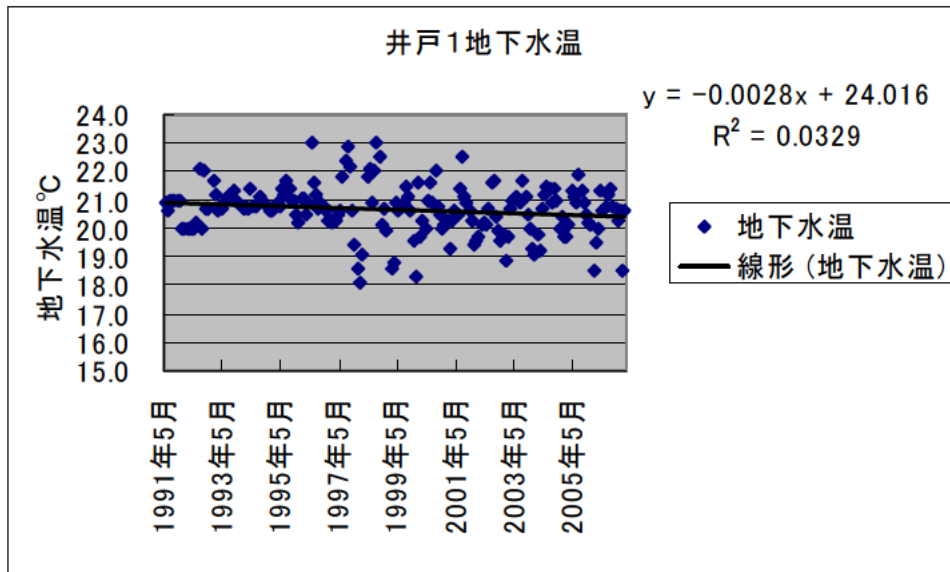


図 2-9 自噴井 1 の地下水温

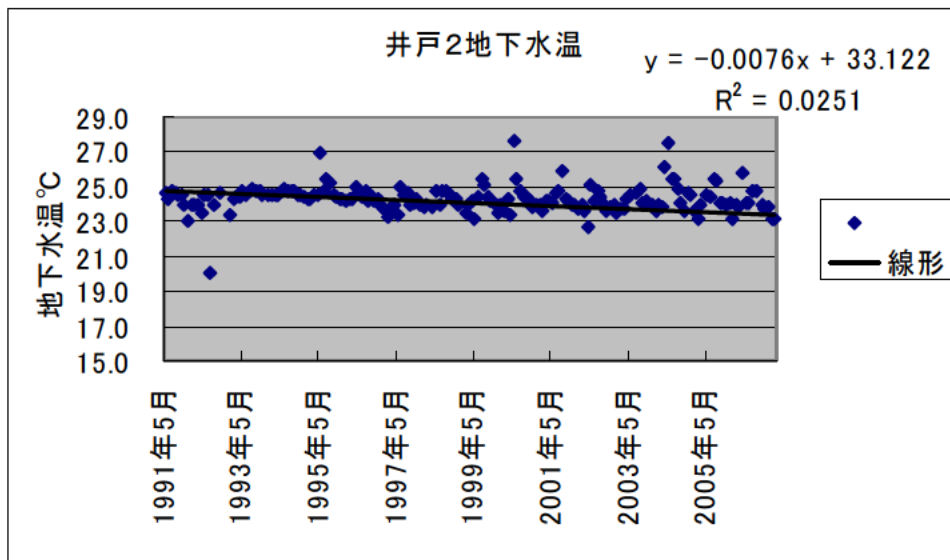


図 2-10 自噴井 2 の地下水温

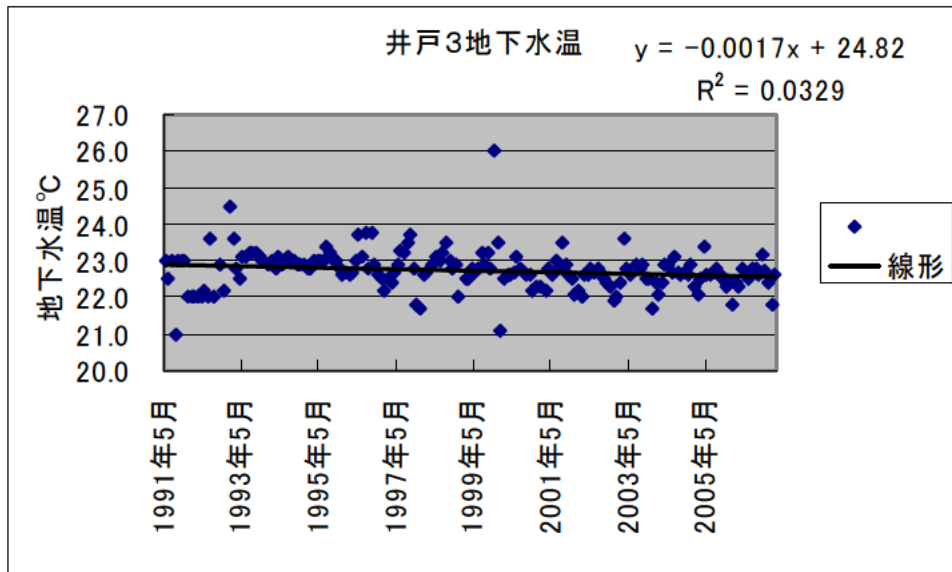


図 2-11 自噴井 3 の地下水温

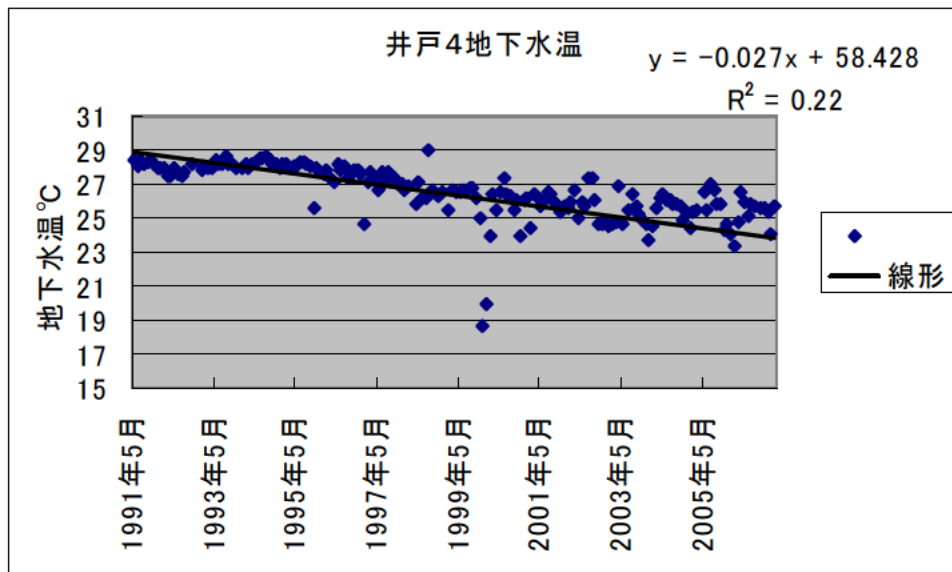


図 2-12 自噴井 4 の地下水温

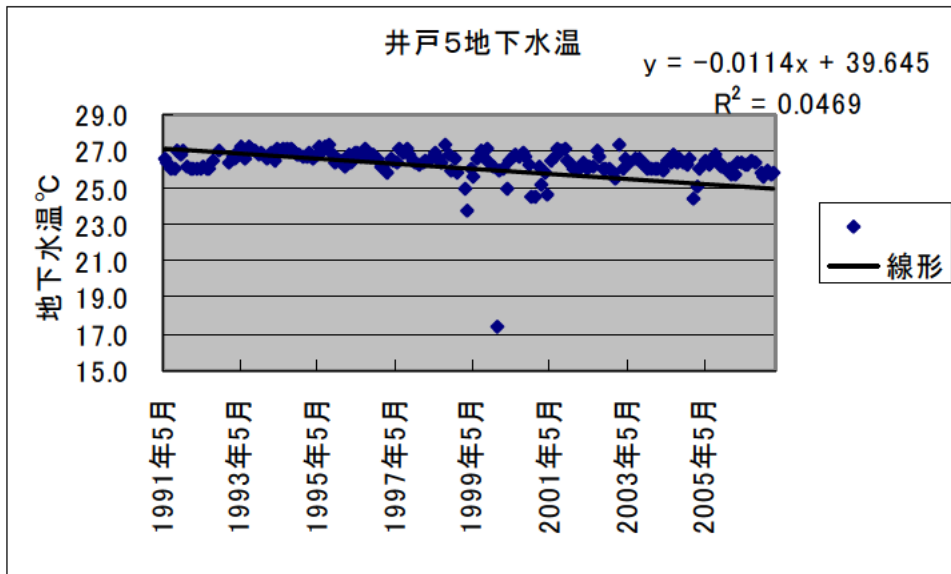


図 2-13 自噴井 5 の地下水温

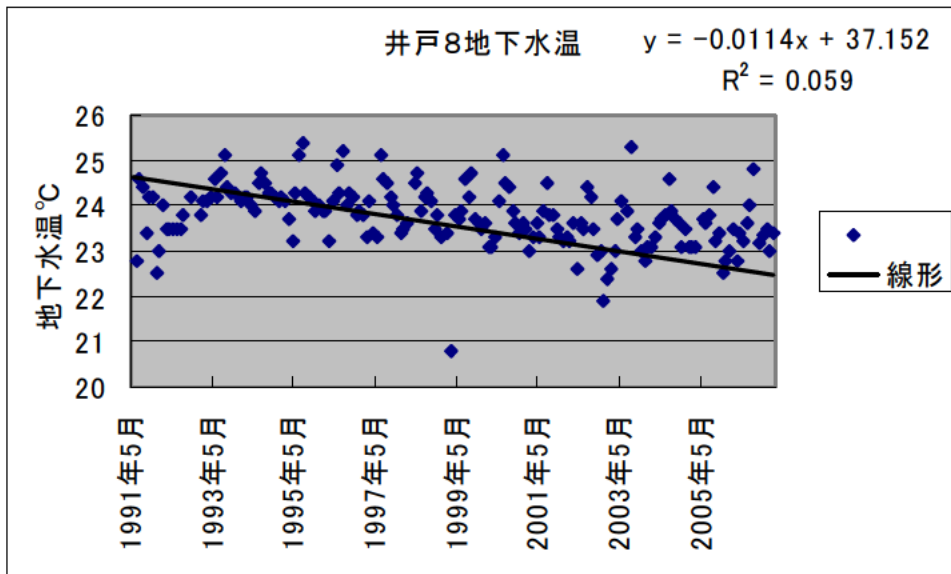


図 2-14 自噴井 8 の地下水温



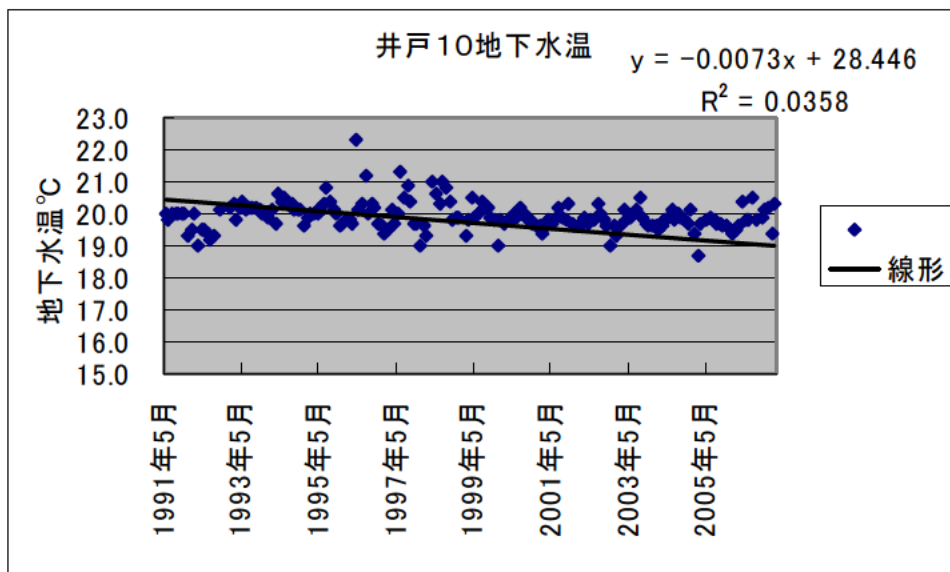


図 2-15 自噴井 10 の地下水温

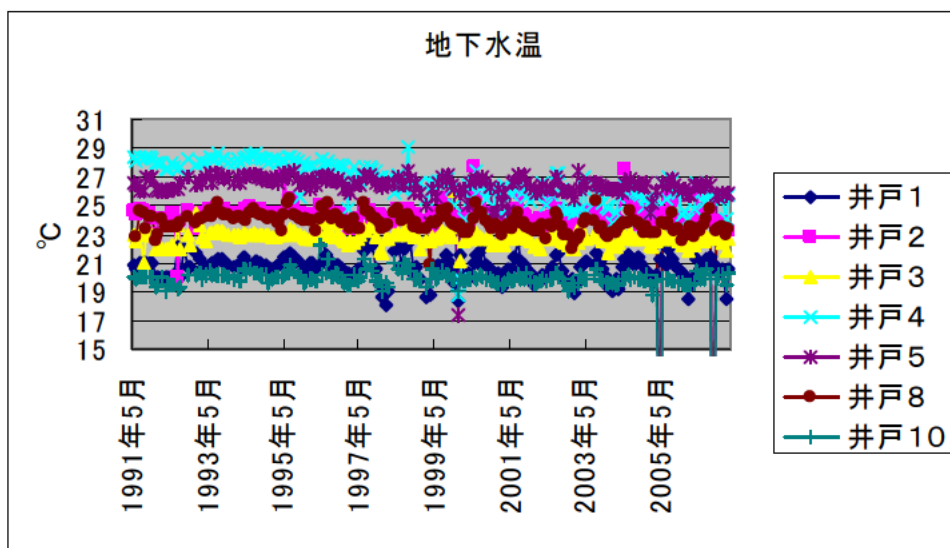


図 2-16 各井戸の地下水温変化

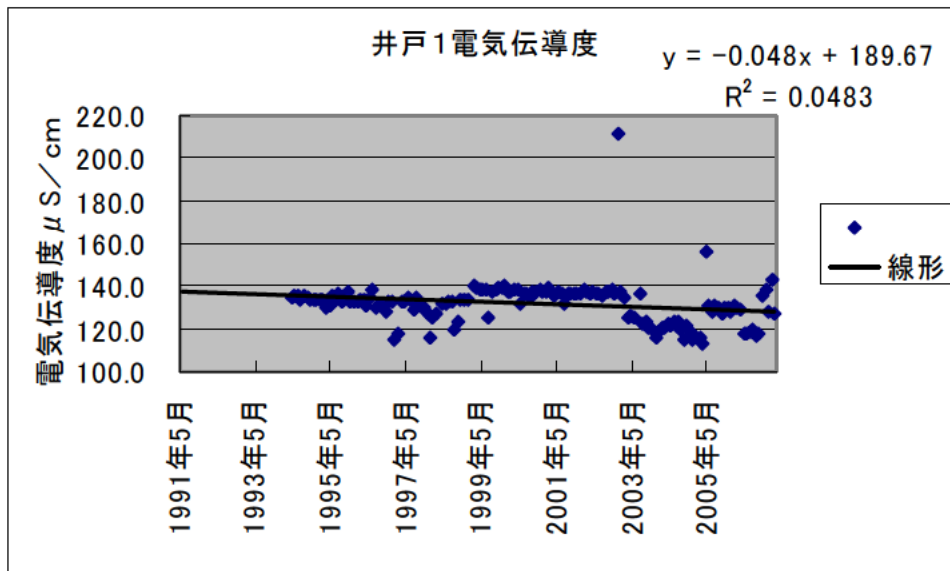


図 2-17 自噴井 1 の電気伝導度

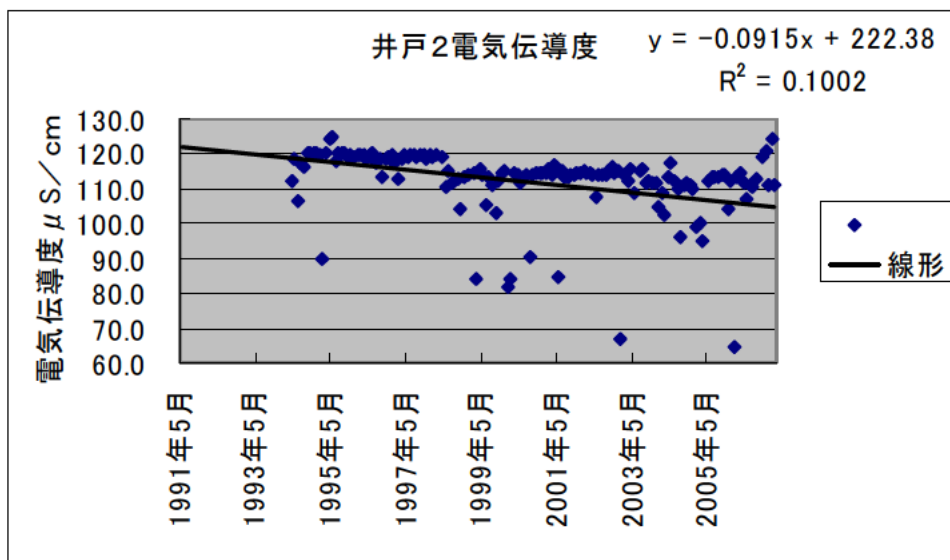


図 2-18 自噴井 2 の電気伝導度

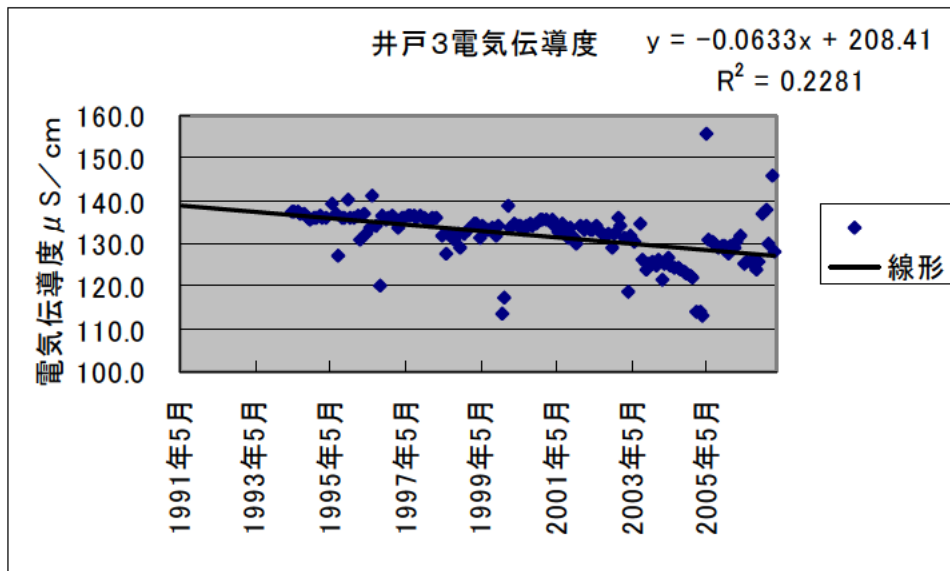


図 2-19 自噴井 3 の電気伝導度

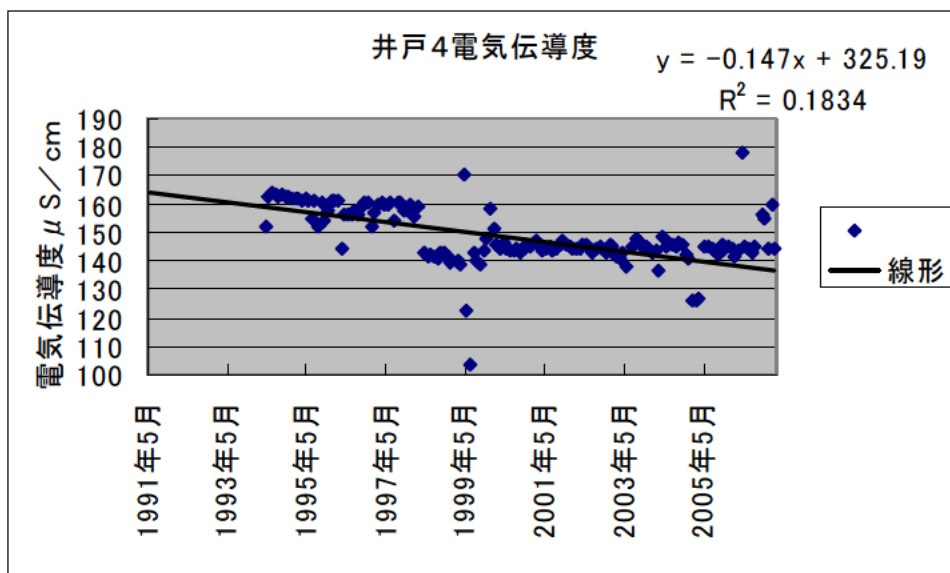


図 2-20 自噴井 4 の電気伝導度

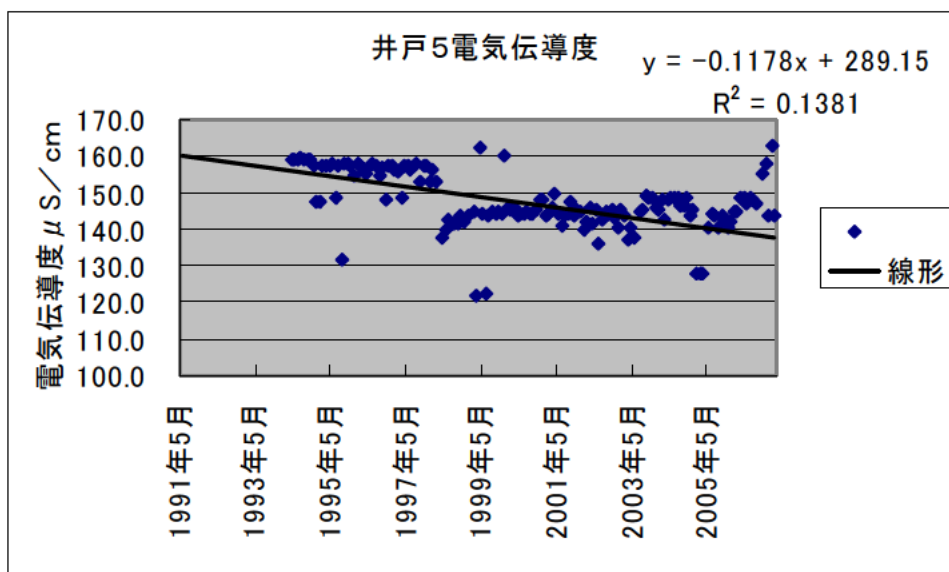


図 2-21 自噴井 5 の電気伝導度

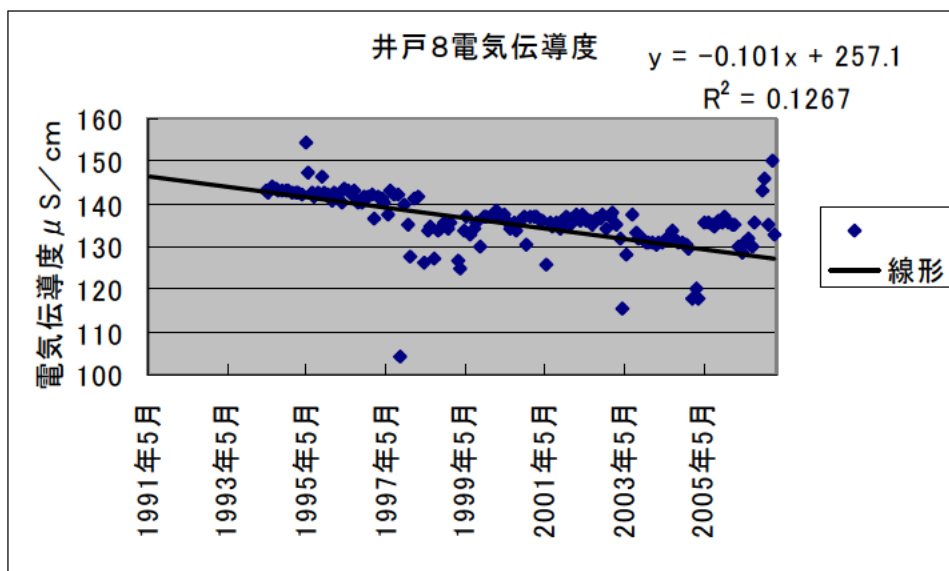


図 2-22 自噴井 8 の電気伝導度

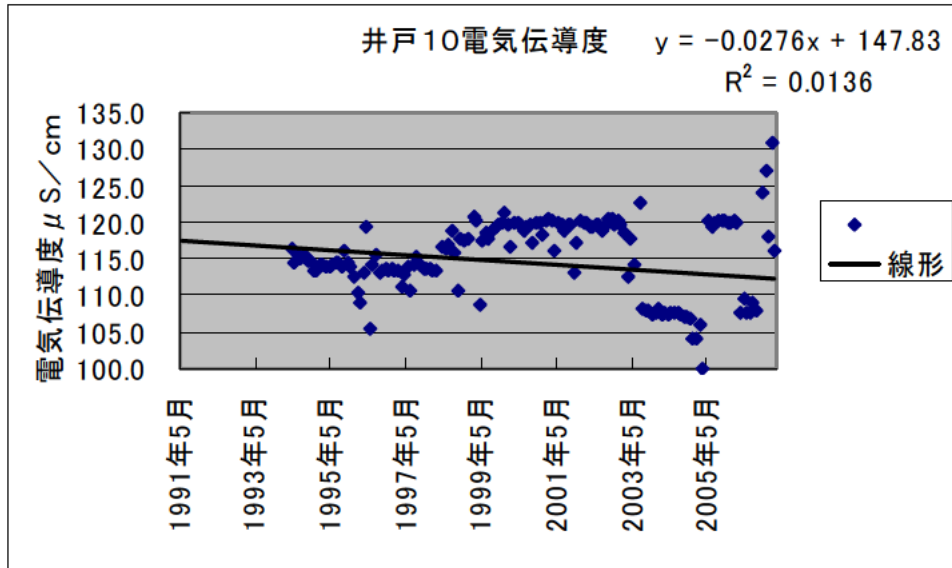


図 2-23 自噴井 10 の電気伝導度

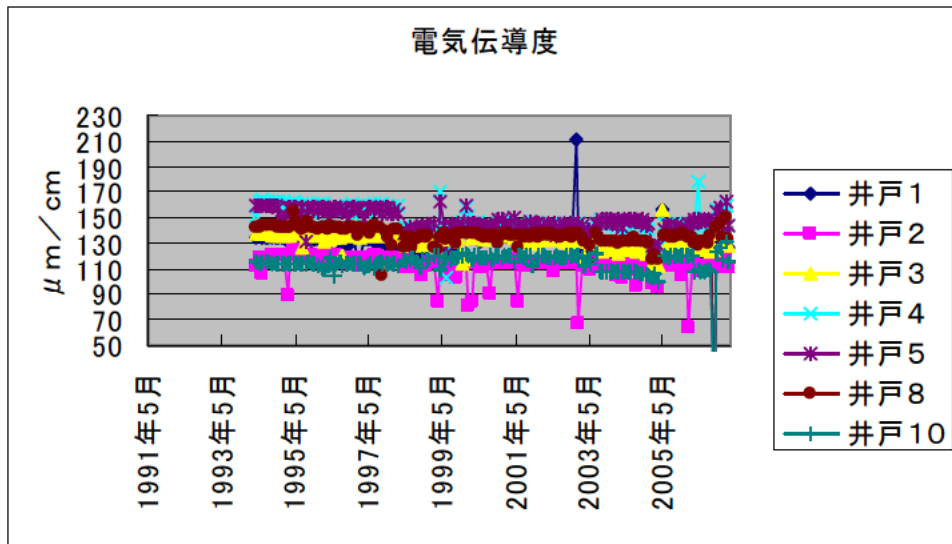


図 2-24 各井戸の電気伝導度変化

地下水温に関しては、いくらか外気温の影響が見られるが、井戸4を除くと全ての井戸でほぼ一定の値を示している。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。井戸4に関しては全体的に低下傾向が見られる。しかし、その井戸4もおよそ 1999 年 5 月以降はほぼ一定の値を示しているようである。

電気伝導度に関しては、井戸3、4、5、8で、比較的大きな相関で、大きな減少割合で低下傾向にある。これは、自噴量の変化と全く同じ傾向である。地下水の電気伝導度は、地下鉱物との化学反応に影響されると考えられるので、井戸3、4、5、8に関しては、自噴量変化と併せて、何らかの地下水の流況変化が起きていることが伺われる。ただし井戸1をのぞくすべての井戸に関して、およそ 1999 年 5 月以降安定傾向にあるように見受けられる。これに矛盾するが、この 1 年間に限ってみるとやや大きな電気伝導度も観察されている。このような傾向はここ数年間は観察されていないので、注意が必要である。

次に、昨年度から始めた pH の変化を図 2-25 から図 2-32 に示す。

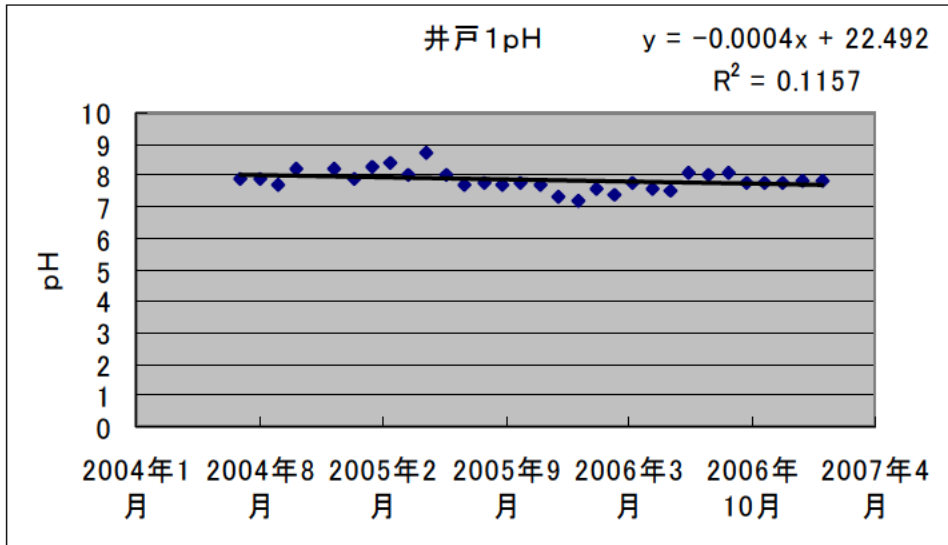


図 2-25 自噴井 1 の pH

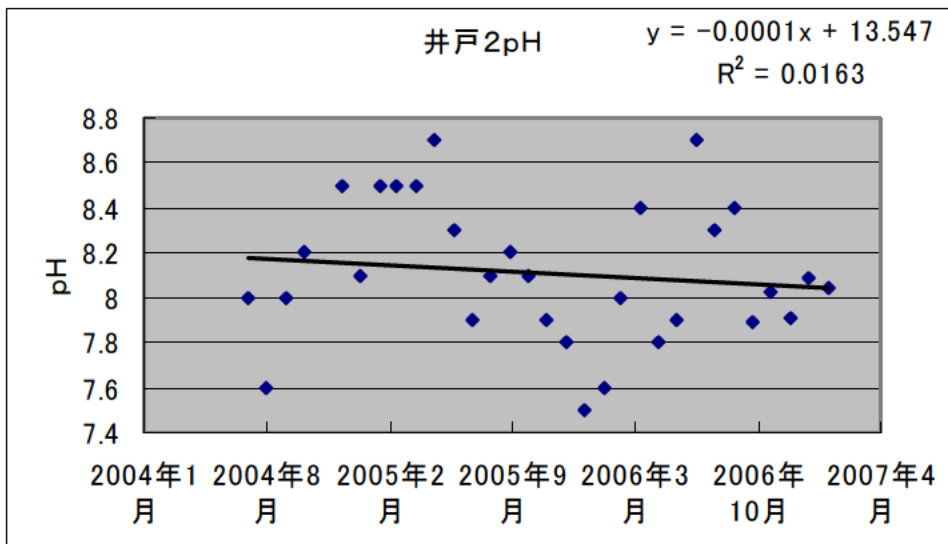


図 2-26 自噴井 2 の pH

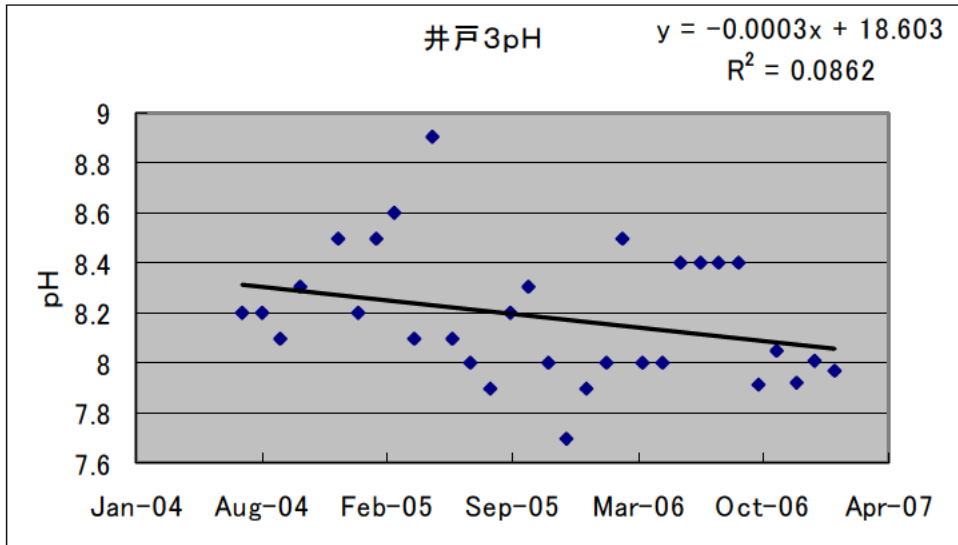


図 2-27 自噴井 3 の pH

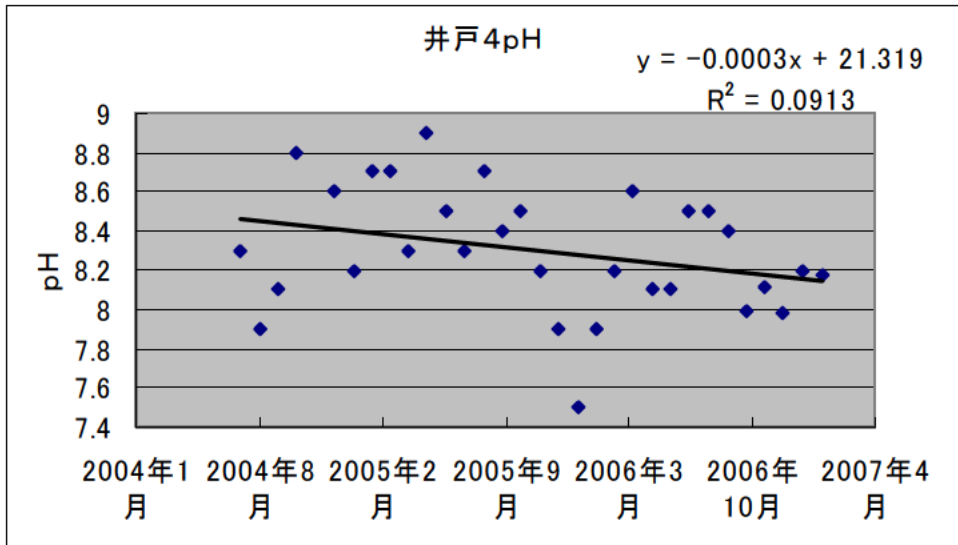


図 2-28 自噴井 4 の pH



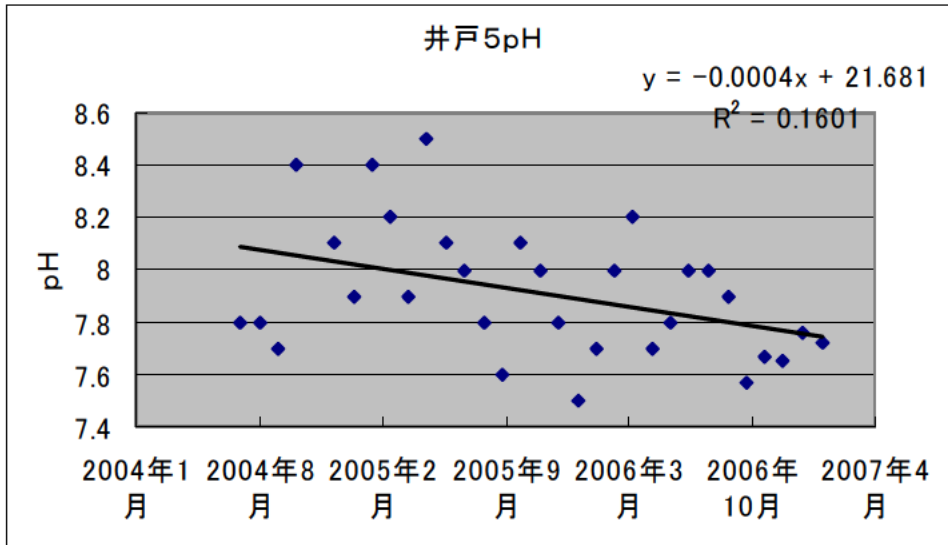


図 2-29 自噴井 5 の pH

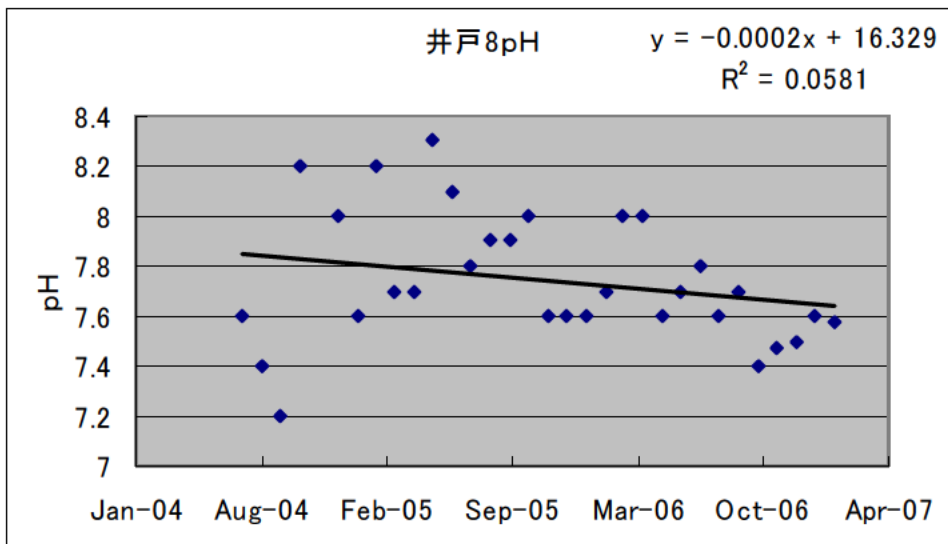


図 2-30 自噴井 8 の pH

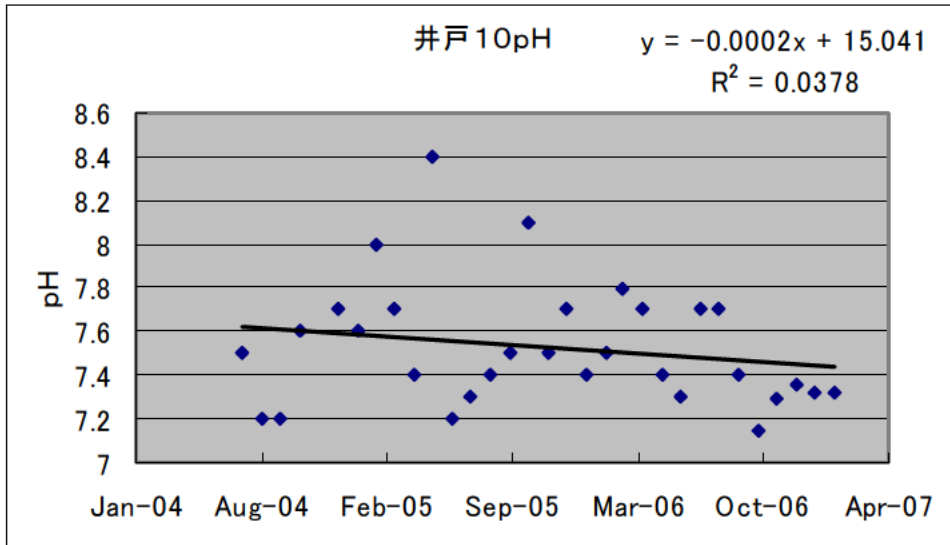


図 2-31 自噴井 10 の pH

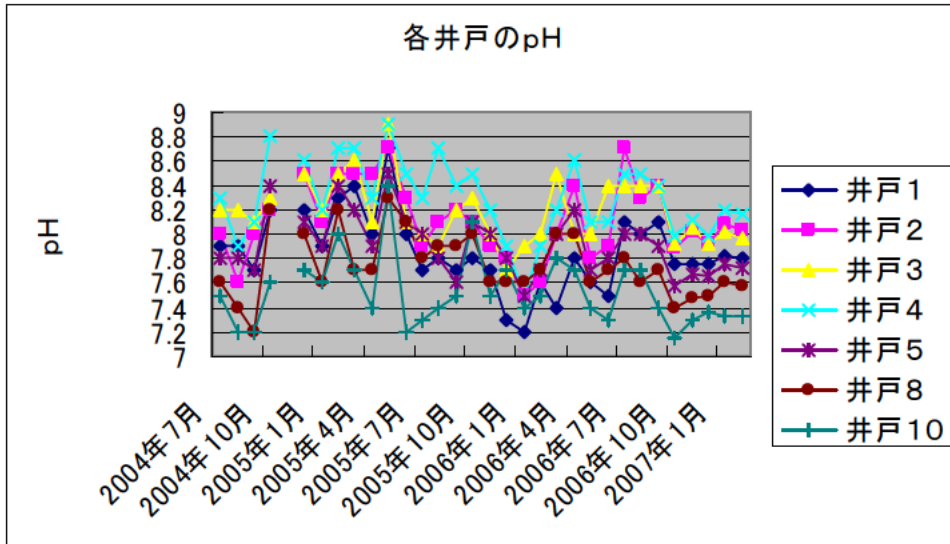


図 2-32 各井戸の pH 変化

pHに関しては測定点も少なく、言えることが少ない。すべてアルカリ性を示している。降水起源と考えられる新第三紀堆積岩中の地下水については、深度が増すにしたがって中性からアルカリ性へ変化すると言われている。深度の深い井戸4, 5で強いアルカリ、次に深い井戸2, 8でやや強いアルカリを示すようにも見えるが、井戸3や井戸1も比較的強いアルカリを示し、これも現在まででは何も言えない。

### 3. まとめ

継続して観測している自噴地下水の状況を叙述した。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。

汚染された地下水は流出するまでに、地表水とは比べものにならないぐらい時間がかかり、いったん汚染されると除去するのに費用も時間がかかる。また地下水の資源としての重要性は大きくなる一方であり、いろいろな意味で地下水を継続観測しておくことは重要である。

幸いにも我々の観測結果は、流量の変化は観測しているが、水質の著しい悪化などはとらえておらず、地下水変化の環境への悪影響は見られない。しかし、地下水流動メカニズムの解明や地下水資源管理、環境変化の兆候をとらえるためにもさらなる継続的な地下水調査が必要であると考えます。

# 愛知県海部地域の海拔ゼロメートル地域における雨水排水の実態

浦山益郎（三重大学大学院工学研究科）

## 1. はじめに

海拔ゼロメートル地域の雨水は自然流下が困難なため、排水機によって強制排水せざるをえない。一般に、市街地は公共下水道事業や都市下水路事業によって整備された行政管理の排水機から、農地は土地改良区が管理する排水機から排水される。しかし、海拔ゼロメートル地域の多くは農地として利用されており、市街地の雨水を土地改良区管理の排水機で排水したり、行政管理と土地改良区管理の排水機を使って排水している地域もある。本調査は、海拔ゼロメートル地域の雨水排水の調整に係る基礎資料をえるために、市街地の雨水対策のための計画、雨水排水に係わる施設の整備状況、施設の維持管理などを調査することによって、雨水排水に係る行政と土地改良区が管理する排水機場の運用実態について把握しようとするものである。

昨年度は、三重県北勢地域の海拔ゼロメートル地域における雨水排水の方式を、管理主体（行政と土地改良区）および排水区域と行政区との関係から、土地改良区が地域全体の排水機能を担うタイプ、排水区域が複数の行政区にまたがるため、行政間調整を行いつつ都市下水路によって雨水排水するタイプ、市街地と農地の排水が未分離の地域において、排水機の運用を都市下水路と土地改良区が調整して排水するタイプの3つに分けて、実態把握を行った。

本年度は、全国最大規模の海拔ゼロメートル地域が広がる愛知県海部地域（図-1）を対象とする。図-2のように尾張西部の湛水防除事業<sup>1)</sup>で整備された施設によって排水される。ところで、海部地域は名古屋市に近接しているため、農地の宅地化が進んでいる。農地の宅地化は、排水機場を管理し

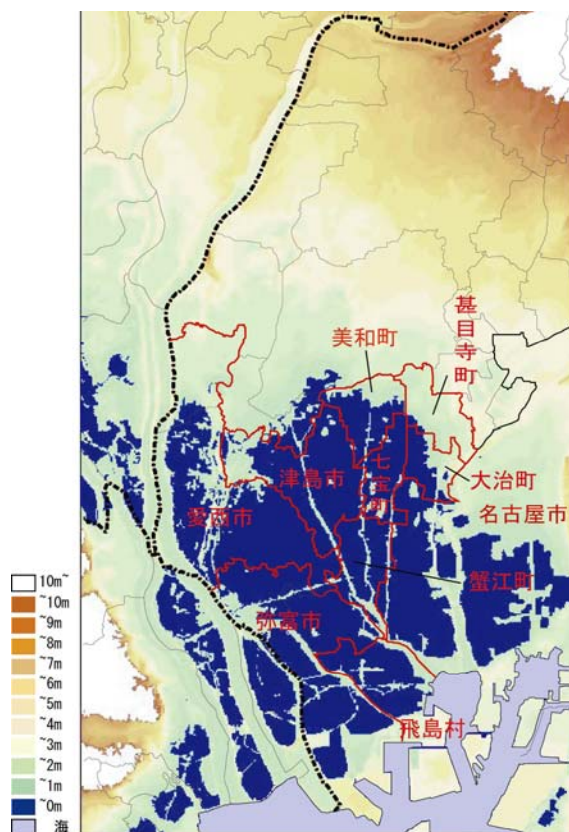


図-1 海拔ゼロメートル地域と愛知県海部地域  
(紺色の部分が標高0m未満)

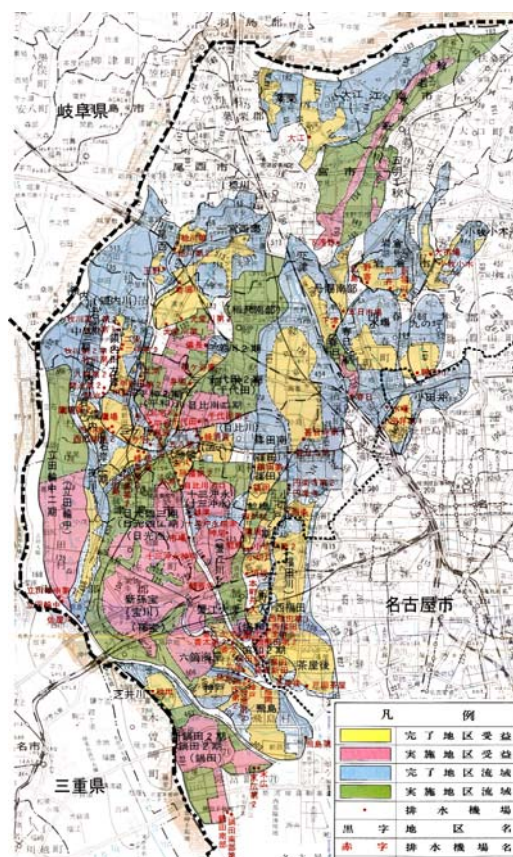


図-2 尾張西部の湛水防除事業の流域  
(愛知県：たん水防除事業概要書から作成)

ている土地改良区にとって賦課金収入の減少となり、逆に雨水排水の負荷増大となるため、土地改良区の運営上の制約を高める。また、農地があまりに減失し、受益地が減ると、農業施策の補助を得て排水機場の更新をしようとしても、採択基準を満たさなくなる恐れも生じる。愛知県海部地域を調査対象とすることは、農地の宅地化が進むことによる、農業施策によって整備された土地改良区の排水機能への影響、行政と土地改良区が管理する雨水排水の機能調整への影響などについて考察することでもある。

## 2. 愛知県における市街地の雨水対策に関する計画

愛知県には市街地の雨水対策として公共下水道が計画されている面積が 94,965ha ある<sup>2)</sup>。市街化区域 111,438ha の 85%に相当する。市町村別に見ると図-3 のように市および名古屋市周辺の市町では、市街化区域の 3/4 以上が公共下水道あるいは都市下水路による雨水対策が想定されている<sup>3)</sup>。しかし、100%未満という数値は、市街化区域内であっても公共下水道・都市下水路以外の施設を使って、雨水排水せざるをえない地域があることを意味する<sup>4)</sup>。

## 3. 愛知県海部地域における市街化区域の雨水排水

海部地域のうち、津島市および名古屋市に近接・隣接する甚目寺町・大治町・美和町は、将来的に市街化区域全域を公共下水道ないし都市下水路で雨水排水する計画をもっている（愛西市、七宝町もほぼ 100%）。他方、日光川・筏川の最下流にある弥富市と飛島村は、市街化区域内の半分以上は公共下水道・都市下水路で排水しない計画になっている。

市街化区域内の雨水対策面積率と市街化区域面積率によって散布図を描くと図-4 のように 4 つに分類できる。①市街化区域には公共下水道・都市下水路を整備しないタイプ（飛島村）、②公共下水道・都市下水路で排水する範囲が市街化区域の半分程度、すなわち市街化区域の大半を土地改良区の排水機で排水するタイプ（弥富市・蟹江町）。③行政域の大部分が市街化区域となっており、したがって行政域のほぼ全域を公共下水道・都市下水路で排水する計画をもっているタイプ（大治町・甚目寺町）。④市街化区域のほぼ全域を公共下水道・都市下水路で排水するが、市街化区域が小さいため、残りの広範囲な市街化調整区域については土地改良区の排水機で排水するタイプ（津島市、愛西市、七宝町、美和町）である。

第 5 章以降、宅地化が最も進んだ＝市街化区域面積率が高い地域の雨水排水の実態を見るために③タイプ、農村的色彩が強い地域の雨水排水の実態を見るために①タイプ、その中間的な性格を持つ＝農地と宅地の混在化が進んでいる地域の雨水対策の実態を見るために②タイプを取り上げ、その実態と問題点を整理する。

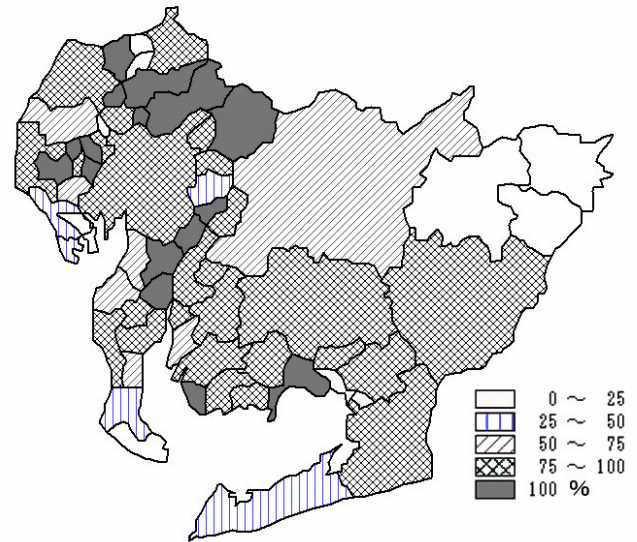


図-3 市町村別市街化区域に対する雨水対策面積率  
(雨水対策面積率=整備対象面積÷市街化区域×100)

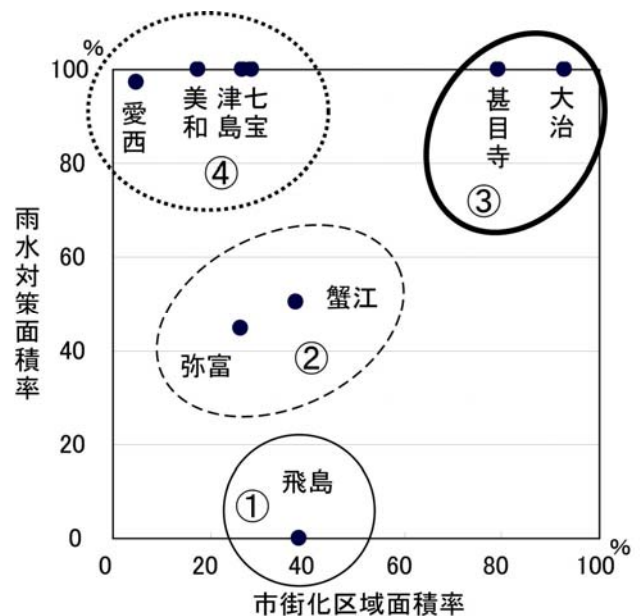


図-4 海部地域における市町村別雨水対策面積率・市街化区域面積率



#### 4. 愛知県海部地域における農業用排水機場

海部地域には図-5のように約130カ所の農業用排水機場がある。名古屋市に近接・隣接した甚目寺町・大治町・蟹江町および津島市では市街化区域内にも農業用の排水機場が設置されており、図-2も参照すると海部地域の市街化区域には農業用排水機によって雨水排水される土地が少なくないことがわかる。なお、農業用排水機の大部分は土地改良区が管理しているが、複数の市町村にまたがる流域をもつ排水機場については流域内の市町村や土地改良区が構成する協議会が管理するものが多い。

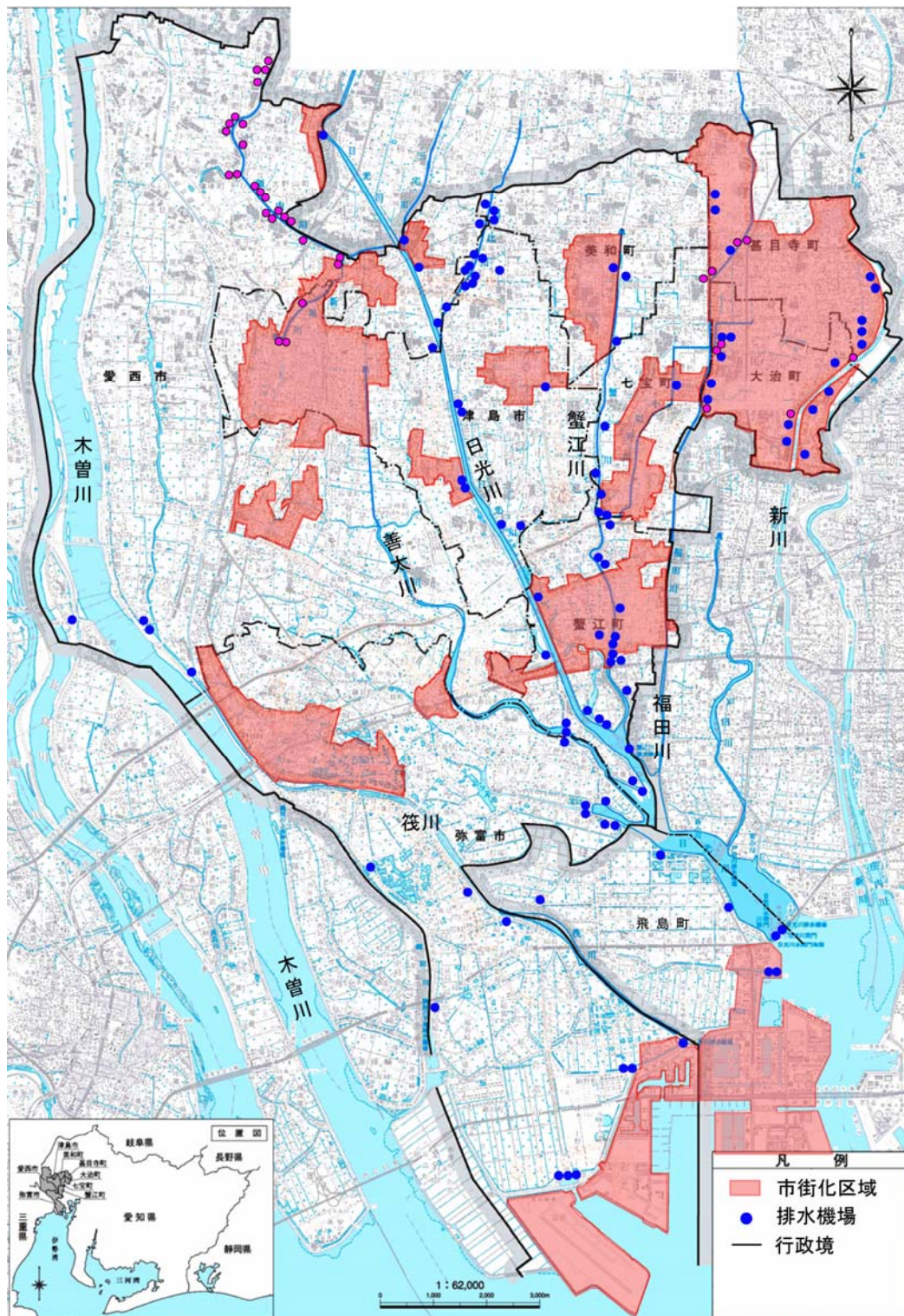


図-5 愛知県海部地域における農業用排水機場  
 (愛知県海部農林水産事務所：農業用排水機場位置図より作成)



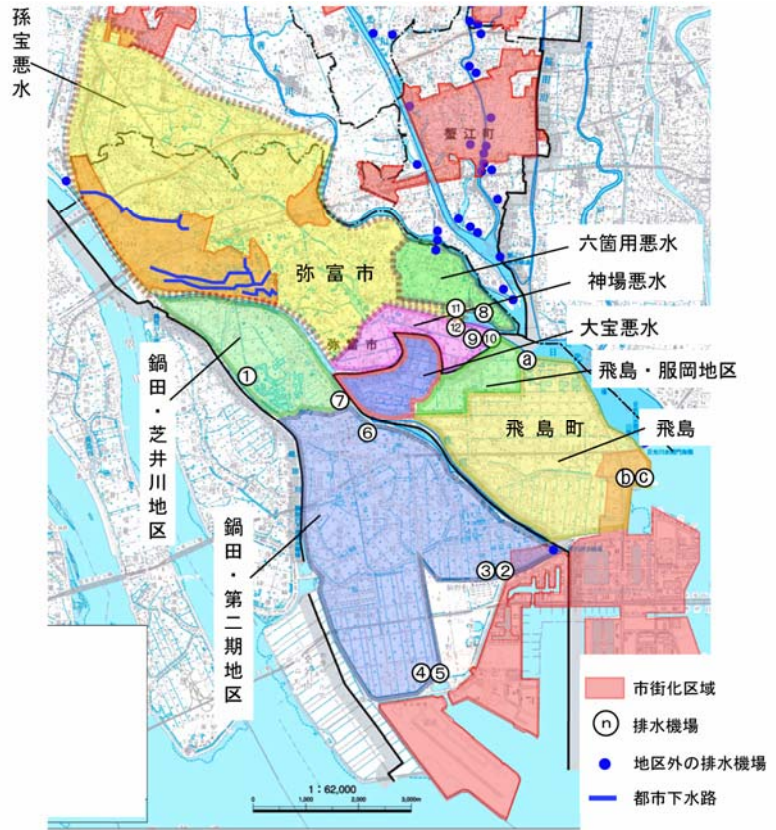
## 5. 飛島村の場合（地域の排水機能を土地改良区が担うタイプ）

### （1）排水機場と排水区域

図－6は飛島村および弥富市の排水機場の位置と排水区域を示したものである。飛島村南部の市街化区域は、自然流下が可能で埋立造成地である。したがって飛島村では、強制排水が必要な土地は市街化調整区域に指定されており、飛島土地改良区の排水機によって排水される。排水区域は3つに分かれている。服岡地区は⑨、飛島地区は⑩の排水機場から排水される。大宝地区は、以前、単独の排水区域であったが、大宝排水機場の廃止および区域変更によって、現在は村外の⑨⑩から排水される。

### （2）排水機の管理

飛島村には3つの排水機場に7台の排水機があり、排水能力は28.08m<sup>3</sup>/秒である。排水機場はいずれも飛島土地改良区が管理している（表－1）。なお、大



図－6 弥富市と飛島村の排水機場と排水区域

表－1 弥富市と飛島村の排水機場

排水機場		排水機台数	流域(ha)	受益地(ha)	整備事業名	維持管理主体
弥富市	1 芝井川	3	344.0	235.9	湛水防除	鍋田土地改良区
	2 末広川	2	255.0	255.0	湛水防除	
	3 末広第二	1			湛水防除	
	4 鍋田南部第一	3	1016.3	1016.3	湛水防除	
	5 鍋田南部第二	2			湛水防除	
	6 稲元	2	159.2		*	
	7 松名	1	51.6		*	
	8 六箇	2	192.0	143.0	湛水防除	六箇用悪水土地改良区
	9 大神場第一	1	368.2	215.8	湛水防除	大神場排水機運営協議会
	10 大神場第二	4			湛水防除	
	11 孫宝	2	2156.1	1082.0	湛水防除	孫宝排水土地改良区
	12 孫宝第二	2			湛水防除	
飛島村	a 服岡	3	139.0	129.0	湛水防除	飛島土地改良区
	b 飛島第一	2	871.0	456.0	県営灌漑排水	
	c 飛島第二	2			湛水防除	

\*：湛水防除事業の前に整備

(注) ヒアリング資料から作成



宝地区の排水機能を担う⑨⑩は、弥富市・飛島村・神場土地改良区からなる大神場排水機運営協議会の管理である。

⑥は県営灌漑排水、④⑤は県営湛水防除事業で整備されたものである。これらの排水機場にはそれぞれ水中ポンプと大型の排水機が設置されている。各排水機場に運転士が2名配されている。飛島土地改良区の流域は市街化調整区域であるが、農村集落などから出される生活雑排水のため水中ポンプは一年中稼働している。

排水機の更新を続けているので、今のところ排水機の能力に支障はないようである。排水能力の向上が必要になれば、農業関係の補助事業を活用することが可能であるが、日光川に排水する場合、河川協議によって流量調整がある。たとえば④はTP+1.5mで排水機を停止することになっている（伊勢湾に直接排水する⑥⑤には流量調整はない）。したがって当面、土地改良区は排水機の能力アップは必要性はない考えられている。

### （3）排水機場の維持管理費

愛知県は排水機維持管理事業によって農業用排水機場の維持管理費を助成している。一級河川・二級河川に排水している大型の排水機場は9/10、その他は3/4が限度である。実態的には限度一杯の補助はないので、補助残は地元市町村あるいは土地改良区が負担することになる。

飛島村には、農業用の施設であっても、土地改良区の排水機場や排水路は村民の生活を守るために不可欠という認識があり、補助金に関する要綱等はないが、土地改良区の負担がないように行政が補助残を満額助成している（2006年度実績：飛島875万円、神戸88万円）。ただし、大宝地区の排水を行う⑨⑩の維持管理は協議会管理であり、補助残を協議会と地元が負担している。

### （4）将来の雨水排水に対する行政と土地改良区の考え方

汚水は農業集落排水と合併処理浄化槽で処理する方針がある。したがって飛島村は流域下水道の日光川流域下流処理区域に含まれていない。強制排水が必要な土地は市街化調整区域であり、雨水排水は土地改良区の排水機場で対応する考え方がとられている。飛島土地改良区では、地域の生活と財産をまもるため、飛島村で行政改革が進められても排水機の維持管理費の助成は継続されるものと考えられている。飛島土地改良区が考える排水能力を維持するための課題は、第一に排水機場までの排水路整備、第二に流出抑制である。第二に関して飛島土地改良区は、圃場から高さ30cmを超える土盛りは同意しない方針で望んでいる。

## 6. 弥富市の場合（市街化区域の雨水を都市下水路と土地改良区の施設によって排水するタイプ）

### （1）排水機場と排水区域

弥富市には臨海部の埋立地、近鉄弥富駅周辺、近鉄佐古木駅周辺の3箇所の市街化区域がある。臨海部の埋立地は自然流下が可能である。近鉄弥富駅周辺の市街化区域には、中部・西部・平島都市下水路（排水区域：296ha）が整備されている。都市下水路に排水機場はない。

飛島村と同様に、弥富市も臨海部の埋立地を除いた地域が強制排水が必要な海拔ゼロメートル地域である。図-6のように、12箇所の排水機場がある。鍋田土地改良区の芝居川地区は①⑦、同第二期地区は②～⑥、六箇用悪水土地改良区は⑧、神場悪水土地改良区は飛島村の大宝地区とともに⑨⑩から排水される。これらの排水区域はいずれも調整区域にある。愛西市にまたがる孫宝悪水土地改良区（流域1082ha）から集まった雨水は⑪⑫から排水される。しかし、近鉄弥富駅周辺および近鉄佐古木駅周辺の市街化区域の雨水および生活雑排水は、都市下水路や兼用水路を通して⑪⑫へ到達する。つまり、弥富市では市街地の雨水も最終的には土地改良区の排水機が排除している。

### （2）排水機の管理

複数の行政域を流域とする排水機場が4カ所ある。飛島村と弥富市にまたがる⑨⑩（排水量：毎秒6.1m<sup>3</sup>）、愛西市と弥富市にまたがる⑪⑫（毎秒47.2m<sup>3</sup>）があるが、前者は大神場排水機運営協議会、後者は孫宝悪水土地改良区が管理している<sup>5)</sup>。流域が大きくても鍋田土地改良区第二期地区の排水機②～⑤は土地改良区が管理している。なお、①、②③にそれぞれ1人、④⑤、⑧⑨、⑨⑩、⑪⑫に2人ずつの運転士が配置されている。

図-7は弥富市内の排水機場別にみた月別運転時間である。全体的にみると、灌漑期の5～8月に運転時間が長いこと、特に受益地の大きい孫宝、鍋田南部第一の運転時間が長いこと、10～3月の非灌漑期にも運転されていることなどがわかる。非灌漑期にも排水機が運転されている理由は、宅地の少ない大神場第一・第二は運転時間が短いことから、宅地化からの生活雑排水流出の影響が大きいと考えられる。なお、この地域の市街化調整区域の農地はパイプライン化されているが、市街化区域内の水田は兼用水路から用水せざるをえないという状況がある。したがって、灌漑期に豪雨が予想されるので、農業用排水路の水を排水しておき、浸水リスクを減らそうとした場合、灌漑したい農家の意向と対立することになる。

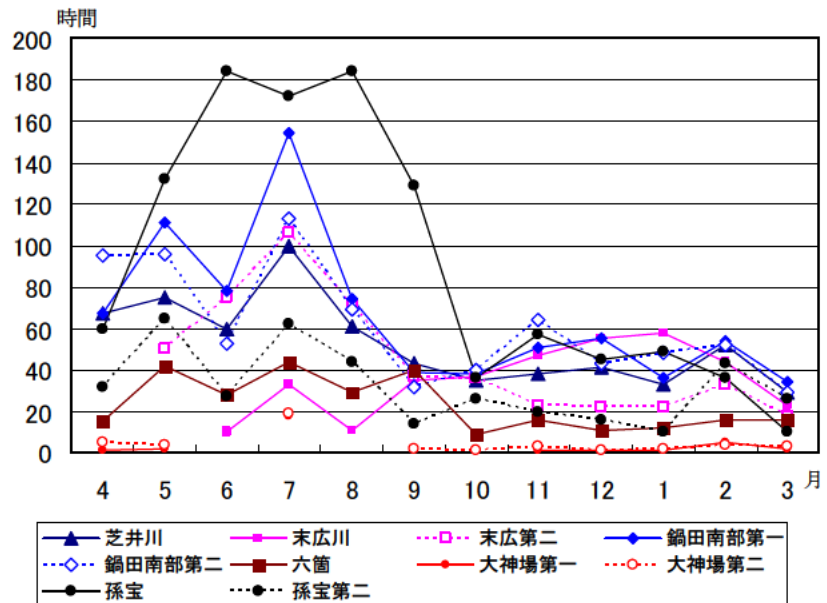


図-7 弥富市の排水機場毎に見た月別運転時間

### (3) 排水機の維持管理費

⑨⑩の維持管理費には9/10を限度（実態は7割程度）、その他は3/4を限度（実態は6割程度）とする県の補助がある。弥富市は「土地改良区事業等補助金交付要綱」によって、愛知県の排水機維持管理事業の対象事業費から県の補助額を除いた額を補助している。ただし、県補助対象事業費の25%以内という制約が設けられているため、県の補助が3/4を下回っているため現実的には地元負担がある。

### (4) 将来の雨水排水に対する行政の考え方

弥富市の公共下水道整備基本計画では、臨海埋立地を除く市街化区域が雨水対策の整備対象となっている。都市下水路（排水区域は261.0ha）から流出した市街地の雨水は最終的には農業用排水機⑨⑩によって排水されるが、それ以外の市街化区域（186.6ha）は流域下水道の関連公共下水道で排水されることになる。

## 7. 蟹江町の場合（市街化区域の雨水を都市下水路と土地改良区の排水機で排水するタイプ）

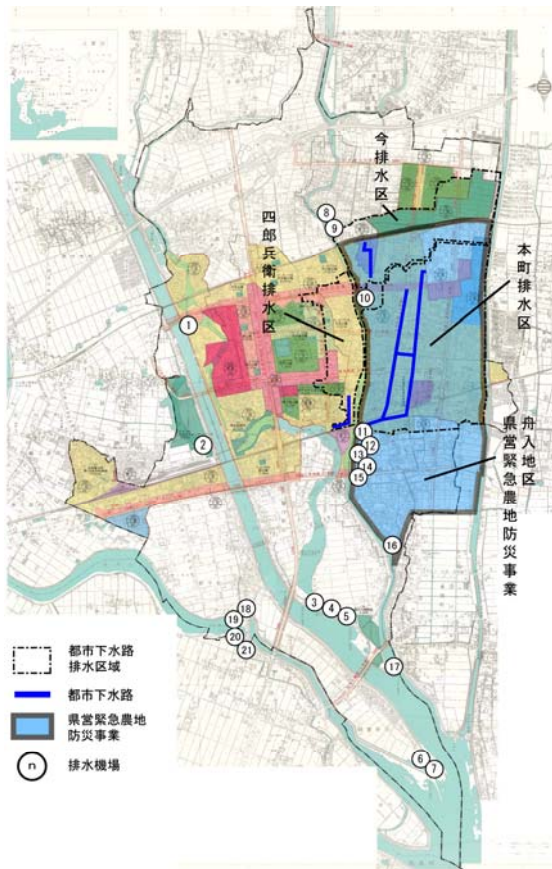
### (1) 排水機場と排水区域

蟹江町には表-2のように21箇所の排水機場がある。

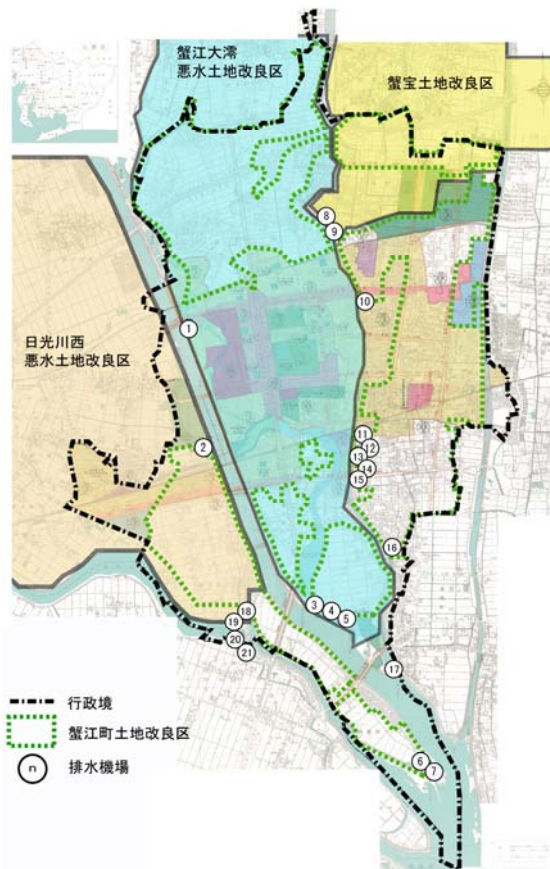
市街化区域には、図-8のように本町、今、四郎兵衛の3つの都市下水路が整備されている。排水区域は計211ha、市街化区域の51%にあたる。市街化区域の西半分は都市下水路の排水区域に入っていない。本町排水区は⑪⑬（ $3.46\text{m}^3/\text{秒}$ ）、今排水区は都市下水路を流下し、土地改良区管理の⑩（ $1.55\text{m}^3/\text{秒}$ ）によって蟹江川に排水され、四郎兵衛排水区は佐屋川へ自然流下する。排水能力を向上させるため、蟹江川と福田川の間にある舟入地区（流域面積220ha、受益地50ha、名古屋市を一部含む）の排水能力向上のために、1989年に3日連続雨量285mm（年超過確率10年）に対応できるように県営緊急農地防災事業によって⑩⑪⑬の更新と⑭の新設が行われた。なお、緊急農地防災事業は愛知県の単独事業である。宅地化の進行によって湛水防除事業の採択要件を満たさない地域についても、地盤沈下等の条件変化によって排水機・排水路等の農業用施設の新設・改修をするためにもうけられた制度である<sup>6)</sup>。蟹江町の市街化区域にはまだ受益農地が残存するため、農業用排水機として整備更新が可能であり、当該制度が適用された。

図-9のように舟入地区の北側は、七宝町にまたがる蟹宝土地改良区の流域であり、⑧⑨から排水される。蟹

江川と日光川の間は、愛西市にまたがる蟹江大濤悪水土地改良区の流域であり、①③～⑤から排水される。日光川以西の地域は、②⑥⑦⑧～⑳から排水される。蟹江町の市街化区域には、都市下水道の排水機によって排水される地域もあるが、大半は土地改良区の排水機によって排水されている。



図－8 都市下水道の排水区域と緊急農地防災事業の範囲



図－9 排水機場と土地改良区の排水区域

表－2 蟹江町の排水機場

排水機場		排水機	管理主体	2005 年度運転時間
日光川	1 観音寺	2	蟹江大濤悪水土地改良区	
	2 大膳	2	日光川西悪水土地改良区	
	3 大海	1		
	4 蟹江大濤	2	蟹江大濤悪水土地改良区	
	5 蟹江大濤第三	2		
	6 鍋蓋新田(二)	1	鍋蓋水利組合	2979
	7 鍋蓋新田(三)	1	鍋蓋地区湛水防除協議会	70
蟹江川	8 蟹宝	2	小切戸湛水防除事業協議会	
	9 須成	3		
	10 今	3	蟹江町土地改良区	65
	11 本町舟入(一)	1	蟹江町	274
	12 本町舟入(二)	1	蟹江町土地改良区	0
	13 本町舟入(三)	1	舟入地区湛水防除協議会	51
	14 本町舟入(四)	2	蟹江町土地改良区	348
15 本町舟入(五)	1	蟹江町	1091	
16 舟入	2	蟹江町土地改良区	44	
17 蟹江川	3	愛知県		
善太川	18 善太	2	日光川西悪水土地改良区	
	19 善太第二	2		
	20 善太(新)	3		
	21 日光川西	3		

(注) 運転時間は町が管理しているもののみ表示している。  
ヒアリング資料により作成。



## (2) 排水機の管理と運転

都市下水路の本町排水区につながる⑪⑮は行政管理であるが、表-2のように今排水区の⑩と本町排水区の⑫⑭、舟入地区の⑯は蟹江町土地改良区が管理である。町外にまたがる流域をもつ⑧⑨（小切戸湛水防除事業協議会）、⑬（舟入地区湛水防除事業）、⑦（鍋蓋地区湛水防除協議会）は協議会管理である。その他の排水機場は土地改良区管理である。

⑪⑮は単独土地改良事業をつかって、蟹江町主体で水中ポンプを整備したものである。市街地の雑排水を排除するために、平常時にこれらが自動運転されている。灌漑期には-2.3m、非灌漑期には-2.6mを超えると排水機が動き、排水を始めるようになっている。灌漑期に豪雨が予想される場合、地元の水回り役のひとが堰やゲートを閉め、排水機の調整池と水路の水を排水している。1年中運転される水中ポンプのある⑥⑪⑮の運転時間は長い。

以上のように蟹江町には、宅地化が進んだ地域＝市街化区域の排水のために蟹江町が管理主体となった排水機、協議会管理（事務局七宝町）、土地改良区管理の排水機の3種が整備されている。

## (3) 排水機の維持管理費

蟹江町が把握している⑥⑩⑪⑫⑭についてみると、2005年度に光熱水費、電主経費、運転経費等、定期整備費、水路管理費、通信費の維持管理費に対する補助金として、県から約270万円が支払われている。県の補助金は採択基準の算定額の63%だったので、蟹江町から算定額との差額約150万円が補助された。排水機場別に見ると、市街化区域の排水機能を担う⑩⑭の額が大きい。その要因として、光熱水費とゴミ処分などの定期整備に要する費用の影響が大きい。

## (4) 将来の雨水排水に対する行政の考え方

蟹江町の公共下水道整備基本計画（9次5計）では市街化区域の211haを雨水対策整備区域としている（現在の都市下水路の排水区域と同じ）。このことは雨水対策整備区域以外の市街化区域（49%）は、今後も土地改良区管理の排水機場に依存することを意味する。しかし、都市下水路事業で整備した排水機場は1箇所であり、都市下水路を流下した水は農業用排水機から排水されるものもあり、市街化区域の雨水排水は土地改良区管理の排水機場に大きく依存している。

蟹江町では、市街化区域の排水能力を向上させるために、緊急農地防災事業を使って排水機場の更新を行った。湛水防除事業の採択基準を満たさないため、愛知県の単独事業である緊急農地防災事業を使わざるを得なかったわけである。今後、さらに市街化区域内の受益農地が減少すると、排水機場の整備や管理は行政が行わざるを得なくなるかもしれない。

## 8. 甚目寺町の場合（市街化区域全域を公共下水道で排水する計画のあるタイプ）

### (1) 排水機場の管理主体と排水区域

甚目寺町は北の一部にある市街化調整区域を除けば、行政区域の79%が市街化区域である。市街化調整区域は土吐川に自然流下しているため、甚目寺町内にある排水機場は市街化区域の排水を行っている。

町内には13の排水機場がある（図-10、表-4）。①～④は福田悪水土地改良区の流域（小切戸用悪水土地改良区の流域を除く甚目寺町内）にあり、福田川排水対策協議会が管理している。なお、③④は流域面積に対して、受益農地が50%を下まわり、湛水防除事業の採択要件を満たさないため、県営緊急農地防災事業で整備された。

これらの農業用排水機場に加えて、排水能力を改善するために、都市下水路として⑬、町単独で⑤～⑨および⑩～⑫が整備された。⑬は緑で示した排水区域（甚目寺町都市計画課が管理、⑭は計画中）、⑤～⑫は排水機場周辺の市街地を排水区域（甚目寺町土木課が管理）としている。農業用排水機場では、農地が許容する湛水条件を満たす能力しかないため、市街地の浸水を避けるために、都市下水路の排水機場⑬⑭は1/5確率の降雨に対応できる能力を持つように計画され、土木課管理の排水機場⑤～⑫は市街地内の低い宅地が浸水しないように整備されたものである。

以上のように、宅地化が進んだ甚目寺町では、都市下水路などの都市基盤整備として整備され行政が管理する排水機場、そして農業用排水機場として整備され、協議会が管理する排水機場がある。複数の管理主体によって運転される排水機場によって市街地としての排水能力を確保している。

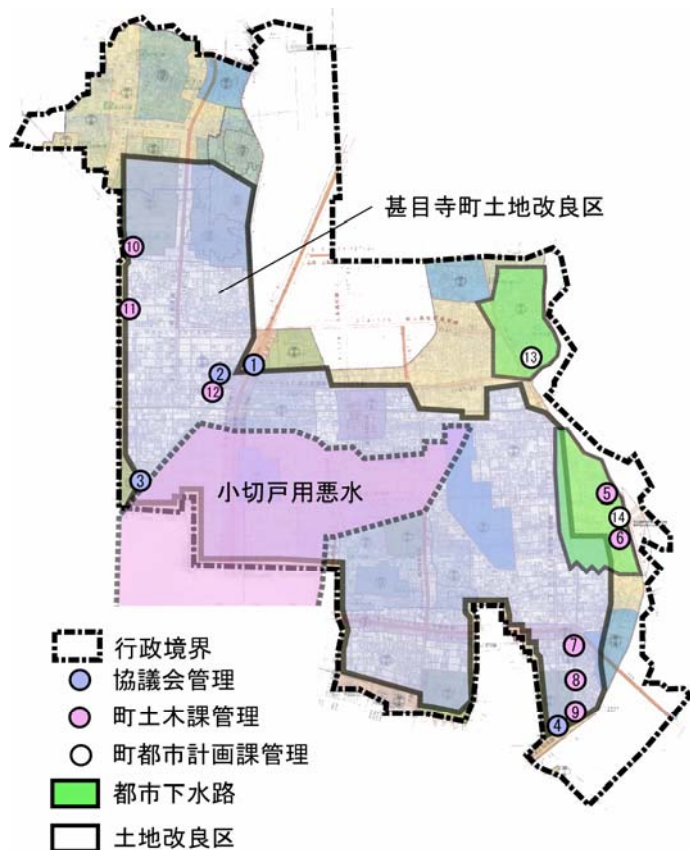


図-10 甚目寺町の排水機場と土地改良区

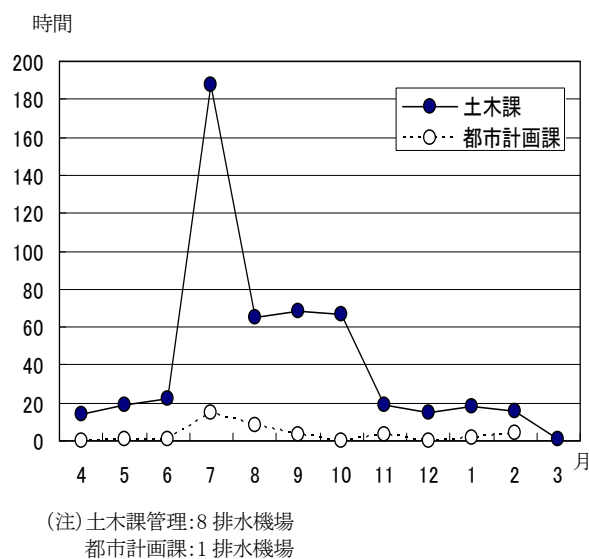


図-11 土木課・都市計画課管理の排水機場の運転時間

表-4 甚目寺町の排水機場

排水機場	流域面積 ha	受益地面積 ha	ポンプ	整備事業	所有	管理	
1 甚目寺第一	220.0	33.0	Φ 500 × 1	湛水防除	町	福田川排水対策協議会	
			Φ 800 × 1	湛水防除			
2 甚目寺第二	360.0	30.0	Φ 700 × 1	河補	町		
			Φ1100 × 1	湛水防除			
3 甚目寺第三	158.0	48.0	Φ 600 × 2	緊急農地防災	町		
4 萱場	107.6	46.6	Φ 900 × 1	緊急農地防災	町		
5 上萱津	79.0	11.6	Φ 500 × 1	町単独	町		甚目寺町土木課
6 中萱津	53.0	7.2	Φ 400 × 1	町単独	町		
7 池端	91.1	17.1	Φ 200 × 1	町単独	町		
8 下萱津第一	91.1	17.1	Φ 350 × 1	町単独	町		
9 下萱津第二	91.1	17.1	Φ 350 × 1	町単独	町		
10 小路調整池	20.0	-	Φ 400 × 1	町単独	町		
11 久湊	33.6	-	Φ 300 × 1	町単独	町		
12 新居屋	126.0	40.5	Φ 400 × 1	町単独	町		
13 梶村	30.7	-	Φ 600 × 2	都市下水路	町	甚目寺町都市計画課	
			Φ 800 × 2		町		
14 萱場(計画)					町		

(注) ヒアリング資料から作成

## (2) 排水機の運転

福田川排水対策協議会管理の排水機場は、①④は運転士に委託、②③は甚目寺町産業振興課の職員が運転している。土木課管理の排水機場は、地元が維持管理する約束で整備している。都市計画課管理の排水機場は、下水道管理者としての大治町が管理することになっている。このように4つの管理方法がある。

運転時間についてみると、協議会管理の農業用排水機は灌漑期と台風時期（5～10月）に運転され、冬季は自然流下が可能なのでほとんど動かない。土木課管理の⑦～⑨は1年中運転されているが、そのほかの排水機場および都市計画課管理の排水機場は自然流下が可能なので、降雨時に運転される程度である（図-11）。

①③⑬には調整池があるが、そのほかの排水機場にはない。そのため、兼用水路が調整池の役割を果たす。豪雨の恐れがある場合、兼用水路を排水する必要があるが、運転士と地元の水回り役のひとが対応している。

## (3) 排水機場の維持管理費

農業用排水機場である①～④および土木課管理の⑤～⑫には、県の排水機維持管理事業の補助金を受けている。維持管理に要する費用から県の補助金を差し引いた額を甚目寺町が負担している（協議会管理の排水機場について、補助残相当額を町が支出、その額は年間200万円弱）。⑤～⑫は維持管理費を地元で負担する約束で整備したため町の負担はない（年間200万円弱）。⑬は下水道の維持管理費に対する補助金は少ないので、町の負担額は年間約260万円と大きい。

## (4) 将来の雨水排水に対する行政の考え方

甚目寺町は市街化区域740haのうち、68haを都市下水路、672haを公共下水道で雨水排水する計画をもっている。つまり、現状では協議会管理の農業用排水機場が市街化区域の排水機能を担っているが、将来的には公共下水道事業に切り替えることになる。ただし、甚目寺町は都市計画税を課税していないこと、土木費が年間6億円程度であることから、計画の実現が困難資されている。市街化区域内の受益農地が減少しており、湛水防除事業の採択要件を満たすことができない地区では、当面、愛知県の緊急農地防災事業による機能更新を図らざるを得ない状況にある。

## 9. 大治町の場合（市街化区域全域を公共下水道で排水する計画のあるタイプ）

### (1) 排水機場の管理主体と排水区域

大治町は河川区域を除けば、行政区域全域が市街化区域である。町内には、図-10のように13の排水機場がある。湛水防除事業など農業関係の事業で整備したもの8カ所のほか、承認工事で整備したもの⑨、町単独で整備したもの③⑩⑫⑬がある。排水機場の所有はすべて大治町であるが、流域として町外を含む①②と大型の排水機がある④⑦は福田川排水対策協議会の管理である。町単独で整備した③⑩⑫⑬のほかの排水機場も、大治町東部および大治町西部土地改良区が整備したものであるが、現在は町管理である。土地改良区は抱えた財産の保全管理団体の性格が強く、宅地化の中で農業団体としての役割は実態的には終えている。

排水区域は図-10のとおりである。行政区域を超える排水区域をもつ排水機場は①②（小切戸第一の排水区域と重複した甚目寺町にまたがる円楽寺）と③（甚目寺町にまたがる小切戸第一）である。⑥は西條第三、④⑤は⑥と重複する西條、⑦⑬は三本木、⑧は砂子第一、⑨は開発行為に伴う特定の土地に係る承認工事で整備したもの、⑩は三本木と重複する砂子第三、⑪⑫は八ツ屋第一のように排水区には重複がある。排水区域を重複させながら、農業用排水機場が整備された市街地の排水機能の水準を向上させてきたと見ることができる。

### (2) 排水機の運転

町内の排水機はすべて大治町の職員（建設部21人）が運転に関わっている。月別の運転時間は図-11のように1年中稼働している。各排水機場には自動運転の水中ポンプが設置されており、生活雑排水などの常時排水用に稼働しており、降雨により水位が上昇した場合、職員が口径1000mmクラスの排水機を回しに出向くしくみになっている。2006年実績では常時排水の水中ポンプが10,850時間、その他の排水機が80時間稼働しており、大治町の排水機は農業用排水機を含めて、都市基盤施設としての性格がよい。

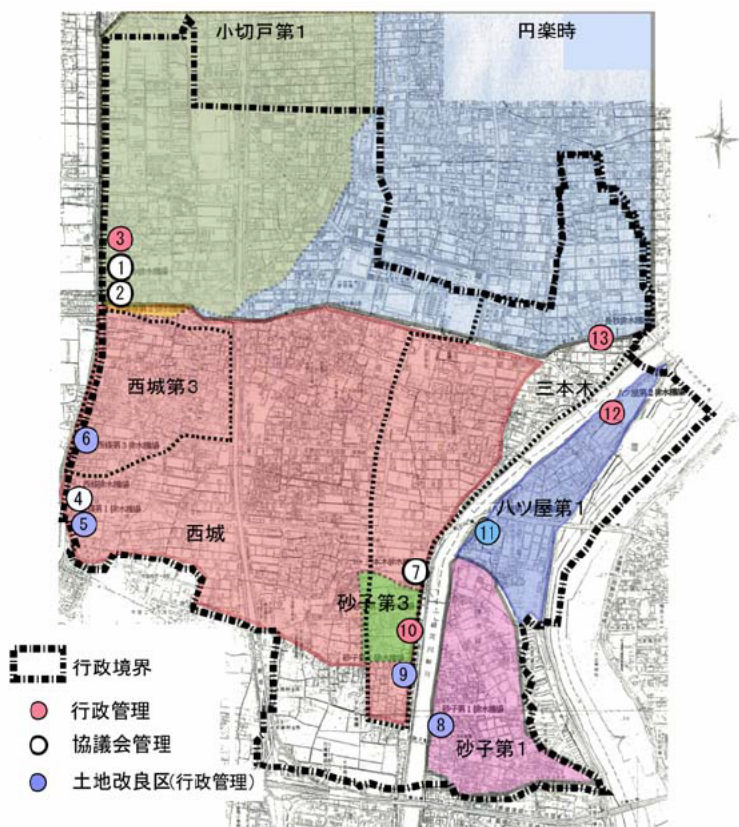


図-10 大治町の排水機場と排水区域

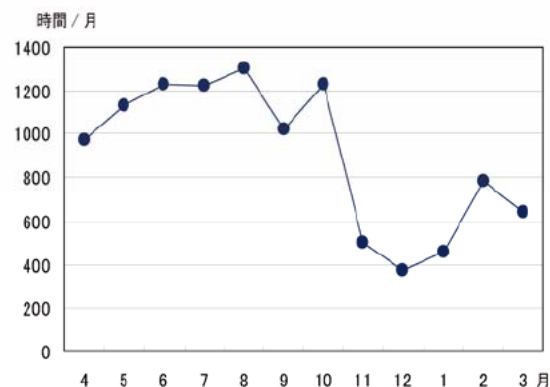


図-11 大治町管理の9排水機場の運転時間

表-4 大治町の排水機場

排水機場	設置時期	事業名	所有者	管理者
1 円楽寺	1969.3	県営湛水防除事業	町	福田川排水対策協議会
	1983.3	県営土地改良事業		
2 円楽寺第二	1993.3	県営湛水防除事業	町	福田川排水対策協議会
		県営地盤沈下対策事業		
3 小切戸第一	1988.3	町	町	町
4 西條	1968.3	県営湛水防除事業	町	福田川排水対策協議会
5 西條第一	1982.3	県営土地改良事業	町	町
6 西條第三	1999.2	地盤沈下対策河川改良受託合併工事	町	町
7 三本木	1983.3	県営緊急農地等防災事業	町	福田川排水対策協議会
8 砂子第一	1971.3	単独土地改良事業	町	町
9 砂子第二	1992.9	承認工事	町	町
10 砂子第三	1979.3	町	町	町
11 八ツ屋第一	1986.3	県営緊急農地等防災事業	町	町
12 八ツ屋第二	1976.3	町	町	町
13 長牧	1979.3	町	町	町

(注) ヒアリング資料より作成

町内の排水機場には調整池はない。したがって豪雨の恐れがある場合、水路の水を排水して浸水リスクを下げる必要がある。以前は、灌漑期に水路の水を排水すると、水田の水が落ちるとの苦情があったが、現在は地元の水回り役のひとが先に堰を締めるようになっている。

### (3) 排水機の維持管理費

①②④⑦は福田川排水対策協議会が、県の排水機維持管理事業補助金と維持管理費を支払っている。その他の排水機は大治町が、県の排水機維持管理事業補助金と補助残を支払っている。排水機の運転のための光熱水費、ゴミ揚げ、ゴミ処理、浚渫および修繕等のために、2005年度は約9,365万円かかった。そのうち県の排水機維持

管理事業による補助金が約 550 万円、修繕保全のための補助金が 2,040 万円。したがってその差額 6,774 万円が大治町が地域の排水機能のために支払った経費である。排水機場は土地改良財産であるが、このように町財政で管理運用している。

水路は農業兼用であるが、大治町では河川扱いをしている。そして年に 1 回、土木課の費用で草刈り（約 1000 万円）、浚渫及び残土処理（2000～3000 万円）をしている。

#### （４）将来の雨水排水に対する行政の考え方

将来的には、市街化区域全域を流域下水道の関連公共下水道で雨水処理する計画がある。大治町は床上浸水をなくし、道路 10cm までの冠水にとどめるよう、時間雨量 56mm（1/5 確率）で整備する目標を持っている。そのためには、農業用排水機を上回る水準に整備する必要がある。

町単独の排水機場を整備して、排水性能を向上させてきた。受益農地が減ると湛水防除事業が使えないため、大治町は排水機場の機能維持も課題と考えられている。

## 10. まとめ

本稿は、愛知県海部地域の海拔ゼロメートル地域における雨水排水について、①強制排水が必要な地域が市街化調整区域に指定されており、その地域の排水機能を土地改良区が担うタイプ（飛島村）、②行政区の大部分が市街化区域に指定されており、市街化区域の雨水排水のために農業用排水機場に加えて、都市下水路事業などによる行政管理の排水機能を整備しているタイプ（甚目寺町・大治町）、③行政区の一部が市街化区域に指定されており、市街化調整区域ばかりでなく、市街化区域の雨水排水も土地改良区の排水機能が大きく担っているタイプにわけ、その実態と特徴について報告した。

#### （注）

- 1) 過去に土地改良事業等によって整備された排水施設が、農家の責任とはいえない地盤沈下など人為的要素の強い要因によって、農作物および施設に湛水被害が生じるようになった地域で行われる排水機や排水路等の新設・改修を行う事業。愛知県には、農業施策として整備された排水機場の維持管理費について、一級河川・二級河川に排水する排水機場は 9/10、その他は 3/4 を限度に維持管理費を補助する「排水機維持管理事業」がある。
- 2) 公共下水道基本計画（第 9 次 5 計：目標 2015 年）で雨水対策することが計画されている面積である。
- 3) 2005 年度末の浸水対策達成率は 63%にすぎない。<http://www.pref.aichi.jp/gesuido/aichigesui/shinsui.html> を参照。
- 4) 当然、河川等への自然流下によって、排水施設が不要な地域も含まれている。
- 5) 県営湛水防除事業の場合、愛知県に整備した排水機の管理についてルールがあるわけではなく、所有は地元市町村に移管されるが、整備の要望をとりまとめた組織が管理を行う場合が多い。実態的には、複数の行政区にまたがる排水区域の場合には協議会、受益地が大きく、事務能力のある土地改良区の場合には土地改良区が管理主体となる傾向が窺える。
- 6) 愛知県緊急農地防災事業実施要綱（2006.1.1）を参照のこと。



# 三重県における陸域水循環モデル —降水量の確率モデル—

三重大学大学院生物資源学研究科 葛葉泰久

## 1. 序論

本報告では、三重県における水循環モデル構築のうち、確率的に記述した、降水量モデル（特に豪雨を対象とする）についての研究結果を報告する。この研究成果を、「台風の機動的観測に基づいた予報精度の向上と災害軽減に関する研究集会」で発表したもので、次章以降の多くの部分は、そこで用いた原稿である。

## 2. IDF カーブ

工学の世界では、よく、「〇年に一度の降水量」という言い方をする。これは、治水計画が、河川の（河川流域の）重要度に応じて、例えば、「200年に一度の降水に耐えられる治水計画」を立案したりするからである。そのために、「200年に一度の降水量」どのくらいなのか、あらかじめ計算しておく。ここで、治水計画で想定する降水を、計画降雨とか、対象降雨とかいう。200年に一度と言われても、「24時間降水」で200年に一度なのか、「1時間降水」で200年に一度なのかによって、随分話が違うので、IDFカーブ（この呼び方は欧米のもので、我国ではそれ程一般的ではない）というグラフを使うことが多い。

図1は、三重県を対象として著者が作ったIDFカーブのうち、四日市（左）と津（右）のものである。図中の数字は、降水継続時間で、この図から、たとえば、四日市の、100年に一度の、24時間降水は、15mm/h弱、つまり、24時間で290-360mm程度と読み取れる。

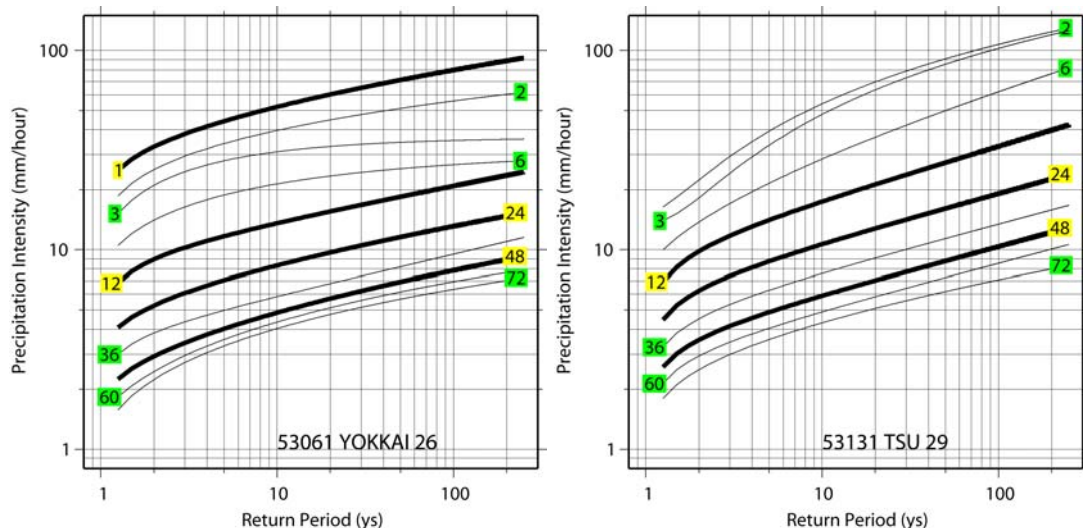


図1 IDFカーブ

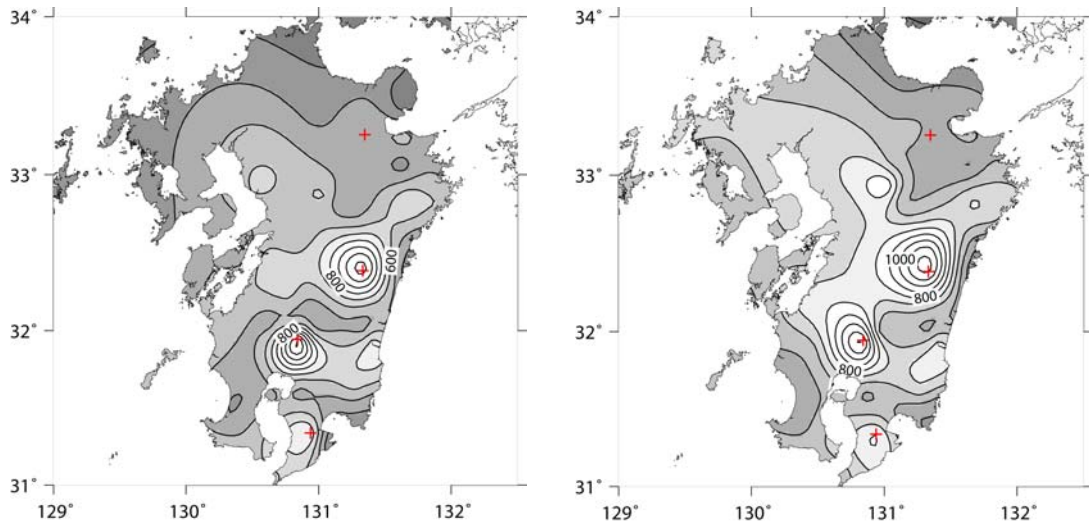


図2 九州中東部の120年確率降水（左が48時間，右が72時間）

また，図2は，同じ考え方を利用して，九州地方中東部の120年確率の48時間，72時間降水量を表示した図である。「120年確率」というのは，120年に一回生起するという意味で，この数字は，石原（2006）の提案する基準に従っている。

ただし，注意が必要なのは，IDFカーブは，ポイントで定義されることである．流域の河川網は，流域内の降水量を積分する．河川網の形状により，ある想定している地点には，近い地点の降水量は早く伝達し，遠い地点からは遅く伝達するので，流域の中の降水量の，空間的平均値を知れば良いというわけではないが，第一近似としては，空間的な降水量の平均値が必要になる．しかし，繰り返すが，IDFカーブは，そういう空間的な値を規定したものではない。

さらに問題となるのは，20年程度（30年以上が望ましい）の年最大値降水量データがないと，IDFカーブが作れないので，実質，AMeDAS観測点でしか，IDFカーブが作成できないことである．これも，降水の空間的な拡がりに関わる問題であるが，上記の空間平均値の問題以前に，まず，観測データのない地点で如何にIDFカーブを作成するかというのが，本研究のテーマである。

### 3. 地域頻度解析

上記のような観点から，「観測点のない地点での予測」が必要になるが，ここで，地域頻度解析という手法が有力になる．もともとは，洪水の予測のために使われてきた手法であるため，*regional flood frequency analysis* と呼ばれてきたが，降水量にも適用できる．この手法のうち，*index flood method* というのがあるが，これについては，最近の文献として，Hosking and Wallis (1997) などがあがあるが，日本では，水野ら（2002）がこの手法を用いている．上記で，「降水量にも適用できる」と書いたが，むしろ降水量の方が都合よく，普通の流域では，降水流量には適用できない（これについては，葛葉（2005）が解説している）。

*index flood method* を簡単に解説すると，以下のようになる．今，降水量を  $Q$  とする．最初の添え字は観測点を表し，2つ目は，次系列の番号をあらわす．つまり，先ほどの  $Q_i$  IDFカーブ（地点  $i$  におけるもの）は， $Q_i(F)$  を求めることになる． $F$  は，頻度を表すパラメータなら何でも良いが，ひとまず，超過確率としておく．流域内のある地域が，気象学的・水文学的に似通ったものである

$$Q_i(F) = \mu_i q(F)$$

なら、その地域を *homogeneous* であると仮定する。その場合、地域内の観測点（未観測の点を含む）では、IDF カーブが、

で表されると仮定するのが、*index flood method* の基本的な考え方である。ここで、 $\mu_i$ として、必要な降水継続時間の年最大値の「平均量」が用いられることが多い。

つまり、*homogeneous* な地域内のいくつかの点のデータを用いて、 $Q_i(F)$  の代わりに、 $q(F)$  を求めたあと、地域内の任意の点では、年最大降水量の平均値だけ求めることさえできれば、IDF カーブが作成できることになる。

著者は、例えば 1988 年～2005 年のレーダーアメダス解析雨量を用いても、たかだか 20 年に満たないデータから、頻度曲線を求めるのは無理であるが、平均値ぐらいなら、その傾向がわかるのではないかと考え、この方法を検討している。

まず、AMeDAS 降水量とレーダーアメダス降水量の特徴（AMeDAS が地点の真の降水量を表しているとする、レーダーアメダスの特徴ということになる）を知る必要がある。図 3 は、三重県のいくつかの AMeDAS 観測点で求めた、平均年降水量（青丸）と、その周辺での、レーダーアメダス解析雨量（赤丸）から求めた、平均年降水量の関係である。1998 年までは、レーダーアメダ

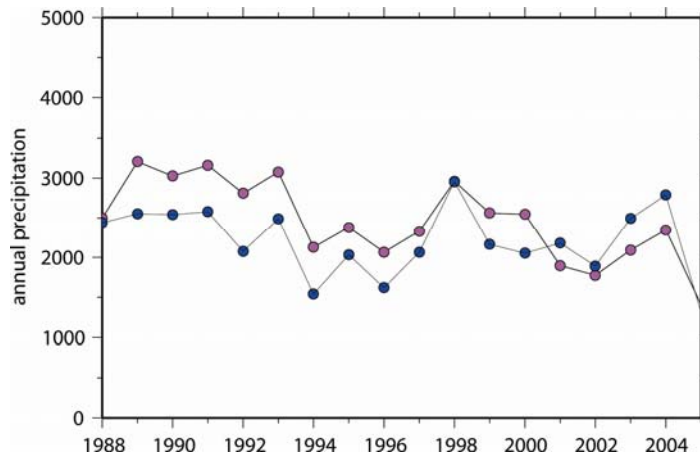


図 3 レーダーアメダスと AMeDAS による三重県近辺の年降水量の比較

スの算定値が、過大評価傾向にあったのに対し、最近では、逆の傾向にあるように見える。

次節の解析は、試験的なものであるが、この傾向は、実用化の際に考慮する必要があると思われる。

#### 4. クラスタ分析

Hosking and Wallis (1997) に解説されている通り、均質な地域を求めるために、クラスタ分析等の手法を用いた。図 4 は、クラスタ分析の結果得られた、AMeDAS 観測点の 5 分類を表している。クラスタ分析には、緯度・経度・標高だけでなく、いく種類かの降水量データも用いたが、地域的にも隣接した観測点が同じグループになり、結果的には妥当なものと考えている。今、例えば津市近辺の未観測の点で、IDF カーブを求めようとするならば、桑名、四日市、亀山、津、白山の降水量データから、地域頻度曲線を求めれば良いのだが、上述のように、その未観測の点の、平均の年最大水量だけは評価する必要がある。

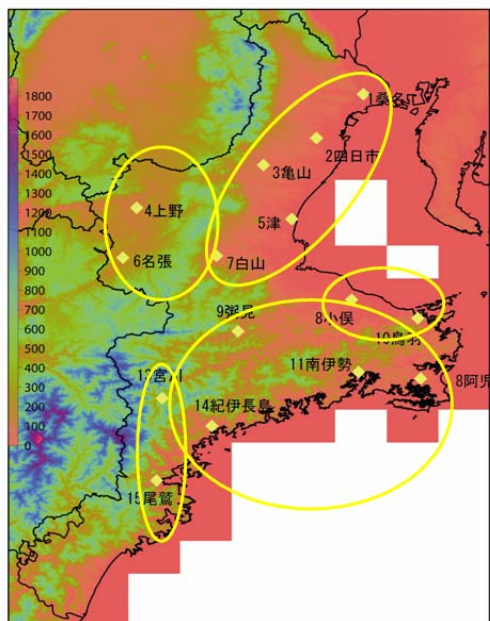


図4 クラスタ分析結果

### 5. 平均の年最大降水量の評価

前節のような趣旨で、レーダーアメダス解析雨量を用いて、年最大〇時間降水量の平均値の評価が可能かどうかを検討した。図5は、レーダーアメダス解析雨量データで評価した平均量で、左が、1時間、右が48時間に相当する。◆は、AMeDAS観測点を表しているが、そのうち、津と尾鷲で両者の関係を見た。まず1時間降水量については、津は38mm, 50mm, 尾鷲が69mm, 70mm (い

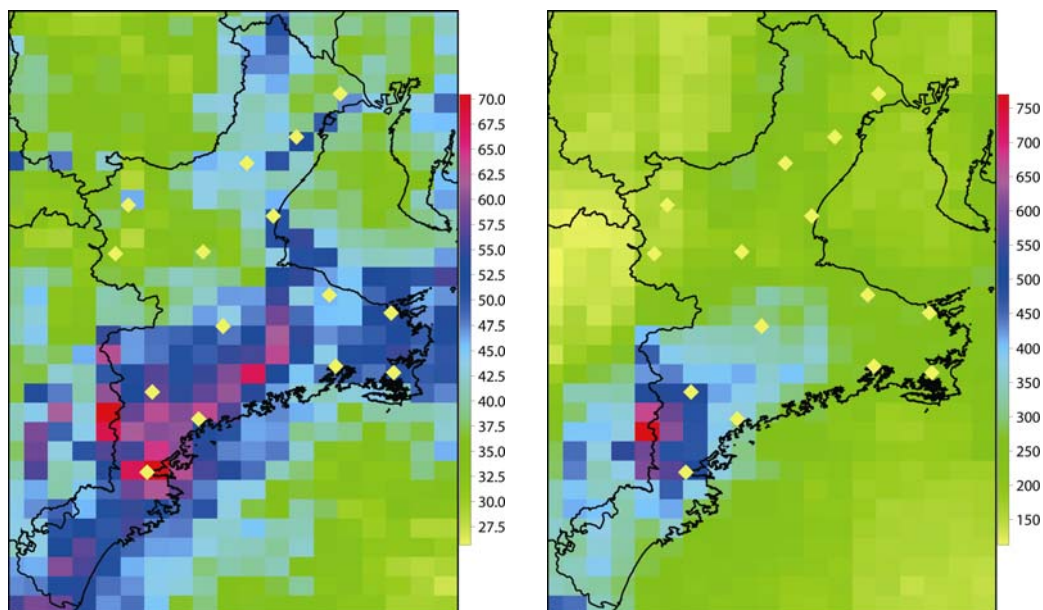


図5 レーダーアメダスで求めた平均の年最大降水量の分布 (左が1時間, 右が48時間)

れも AMeDAS, レーダーアメダスの順である)であった。48時間降水量が, 津で, 187mm, 259mm, 尾鷲で474mm, 517mmであった。降水継続時間を長くとした場合に, レーダーアメダス解析雨量では, 平均値が過大に評価されるようである。

## 6. 極値の降水と台風

本報告で記述したように, 極値豪雨を確率統計的に解析する場合, 同じ極値の降水といっても, その起源が台風か, 前線性降雨か等のように, 降水システムごとの分類をする必要があるという議論がある。そこで, 台風だけ取り上げて, 十分なサンプル数があるのかどうかを確認するために, 台風が原因の極値降水の占める割合を調べたのだが, そもそも, 前節までのような極値降水を考える上で, 台風が原因になっているものが, どの程度あるのかを調べた。その結果, 年最大降水量を示すような極値の降水のうち, 台風が何らかのかかわりを持っているものが, 全体の半分以上あることがわかった。今後は, 降水システムの分類にも留意して, 本解析を進めてゆきたいと考える。

### 参考文献:

- Hosking, J. R. M. and J. R. Wallis: Regional Frequency Analysis, 224p., Cambridge University Press, U.K., 1997.
- 石原安雄: 自然災害における防災規範と防災数, 自然災害科学, 24(4), pp.473-476, 2006.
- 葛葉泰久・小松陽介・友杉邦雄・岸井徳雄: 地域洪水頻度解析・スケーリングと PUB, 水文・水資源学会誌, 18(4), pp.441-458, 2005.
- 水野量・外山奈央子: L-moments を用いた地域頻度解析による全国アメダス地点における確率降水量の推定, 気象庁研究時報, 54, No.5/6, pp. 55-100, 2002