

## 現地観測に基づく鹿児島市の地下水に関する考察

伊藤祐二・初井和朗<sup>†</sup>・小林 隼

(利水工学研究室)

平成18年 8月10日 受理

### 要 約

鹿児島市では、都市化の進展に伴い地下水利用量の増加が予想され、地下水の現状を把握するうえで、地下水のモニタリングが重要である。本研究では、市内の4つの地下水観測孔(No. 1~4)において、2004年4月から2006年3月の地表面から地下水面までの深さ、電気伝導度および水温の観測を行い考察を加えた。中央駅付近の商業地域に位置する観測孔No. 1では、周辺井戸からの揚水が地下水面の深さの変化に影響をおよぼしている。海岸線に最も近い観測孔No. 2では、潮汐の影響を受けており、一方、内陸部の観測孔No. 3, 4では、降水による影響が比較的大きかった。各観測孔における地下水面の深さ、電気伝導度および水温は、2年間で大きな変化はなく、今回の観測結果からは、地下水の塩水化や枯渇などの地下水障害は認められなかった。

キーワード：地下水, 観測孔, モニタリング, 地下水障害, 水資源

### 緒 言

人口が集中し経済活動の中心である都市域においては、都市化の進展により様々な都市問題と環境悪化が顕在化している[2]。本研究の対象地である鹿児島市では、都市化の進展に伴う上水および各種産業用水としての地下水利用量の増加によって、地盤沈下や地下水の枯渇および塩水化などの地下水障害が懸念される。同市では、地下水の利用の適正化や障害防止などを目的として、1985年以降、市内の4箇所の地下水観測孔を利用し、地表面から地下水面までの深さを継続的に観測している。淡水資源として貴重な地下水を保全するため、地下水の状況を長期かつ継続的にモニタリングすることは極めて重要である。著者らは、2004年4月から2006年3月の市内4箇所の地下水観測孔において、地表面から地下水面までの深さ、電気伝導度および水温の観測を行った。本報告では、著者らが行った地下水観測結果に基づいて、鹿児島市における地下水の現状について考察する。

### 材料および方法

#### 1. 観測の位置と概要

Fig. 1は、鹿児島市における4つの地下水観測孔の位置および潮位と降水量の観測地点を示している。Table 1には、各観測孔の概要を示す。地下水観測孔は、沖積低地と埋立地に位置する市内4箇所の小学校校庭に設置されている。Table 1に示す観測孔から海岸線までの最短距離によれば、観測孔No. 2(南小学校)は最も海に近く、観測孔No. 4(清和小学校)は最も内陸部に位置している。また、観測孔No. 1(中洲小学校)は鹿児島中央駅周辺の商業地域、観測

Table 1. Outline of observation boreholes

Borehole	Depth (strainer) (m)	Distance from the seafont (km)
No.1(Nakasu E.S.)	70 (53.5 - 70.0)	2.4
No.2(Minami E.S.)	70 (48.0 - 64.5)	0.4
No.3(Taniyama E.S.)	70 (48.0 - 64.5)	2.0
No.4(Seiwa E.S.)	70 (44.5 - 61.0)	3.1

E. S.: Elementary School

<sup>†</sup> : 連絡責任者：初井和朗 (鹿児島大学農学部 利水工学研究室)

Tel : 099-285-8692, E-mail : momii@agri.kagoshima-u.ac.jp

孔No. 3(谷山小学校)は鹿児島市南部の市街地に位置している。各々の観測孔は、口径250mmの鋼管でケーシングされており、掘削深度は70mである。ストレーナの位置は、地表面からの深さ44.5mから70mの範囲にあり、その長さは16.5mである。なお、潮位および降水量は、気象庁所管の検潮所(鹿児島市城南町)および鹿児島地方气象台(鹿児島市東郡元町)において観測がなされており(Fig. 1), 本研究では、両データを地下水の時間変化と比較対比するた

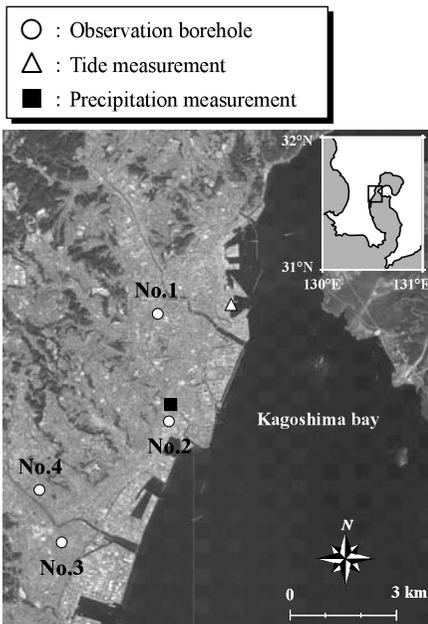


Fig. 1. Locations of observation boreholes tide and precipitation measurements

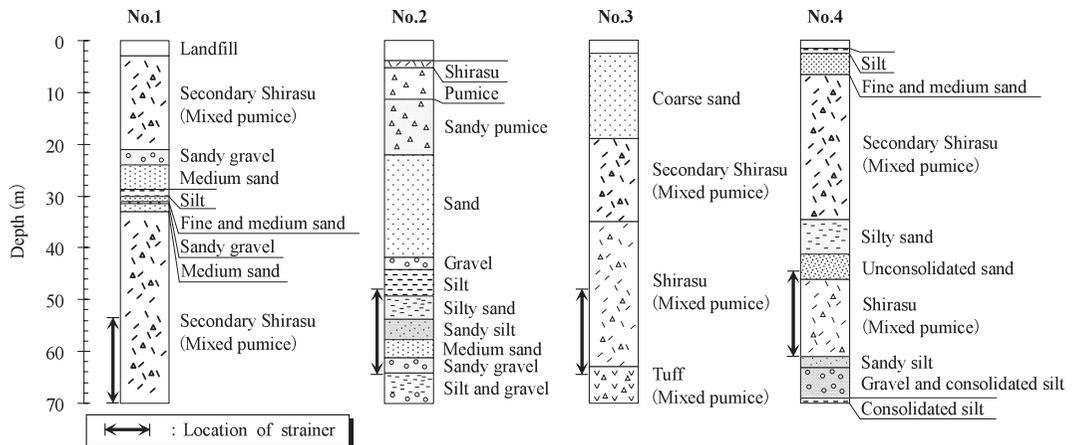


Fig. 2. Geological strata at four observation points in Kagoshima city

めの基礎資料として利用した。

Fig. 2は、各観測孔における地質柱状図[4]を示している。各観測孔の標高は不明であるため、Fig. 2の縦軸は地表面からの深さで表示している。観測孔No. 3の35m以深および観測孔No. 4の46mから61mの地層は、軽石を含む堆積層で構成されている。また、観測孔No. 4の61m以深の地層は、主にシルトで構成され、これらの地層を除けば、4つの観測孔の地表面から70mまでは、すべて沖積層で構成されている。ストレーナ部分の地質については、観測孔No. 1, 3, 4では主にしらす、観測孔No. 2ではシルト、砂、礫などが分布している。

## 2. 観測方法

Fig. 3に、地下水観測に用いた観測機器を示す。2004年4月から2006年3月における地表面から地下水面までの深さの観測は、フロート式自記水位計(観測孔No. 1, 4: 小笠原計器LR-1021, Fig. 3(a); 観測孔No. 2, 3: 池田計器ADR-114WP)および水圧式自記水位計(横河電子機器MW012, Fig. 3(b))と手測り水位計(アルファ光学WL-T1-30B, Fig. 3(c))を用いて行った。アナログ形式でデータを記録するフロート式自記水位計に対しては、観測孔No. 1, 4は約1ヶ月毎、観測孔No. 2, 3は約3ヶ月毎に記録紙の交換を行った。観測データについては、回収した記録紙の6時と18時の値を読み取り、12時間単位で整理した。一方、デジタル形式でデータを記録する水圧式自記水位計は、2004年4月14日から7月28日に観測孔No. 3, 4, 2004年8月26日以降に観測孔No. 1, 2に設置した。水圧式自記水位計による観測



(a). Float type



(b). Water pressure type



(c). Manual type



(d). Water temperature and electric conductivity meter

Fig. 3. Groundwater observation devices

データは、毎正時の瞬間値を専用のデータロガーに記録し、フロート式自記水位計による観測データのバックアップおよびチェック用として使用した。両タイプの水位計(測定精度 $\pm 1.0\text{cm}$ 以内)による測定誤差は、手測り水位計を用いた約1ヶ月毎の地表面から地下水面までの深さの観測値に基づいて修正を行った。

2005年1月24日および2006年3月27日には、水温電気伝導度計(WTW/Germany LF330)を用いて、4つの観測孔における地下水面から地表面下約70mまでの電気伝導度ECおよび水温の観測を行った。

### 結果と考察

Fig. 4は、2004年4月1日から2006年3月24日の4つの地下水観測孔における地表面から地下水面までの深さおよび降水量の日変化を示している。また、Fig. 5は、月平均の地下水面の深さおよび月降水量を示している。データの欠落期間は、水位計の不調あるいは観測小屋の補修や観測孔周辺の整備工事に伴う欠測によるものである。Fig. 4およびFig. 5より、観測孔No. 3, 4における地下水面の深さは、比較的

降水量に応じた季節変化を示している。Fig. 5によれば、両観測孔における地下水面の深さは、概ね2004年においては9月から11月、2005年においては7月から10月にかけて浅くなっている。一方、観測孔No. 1, 2においては、地下水面の深さの季節変化は比較的小さい。

Table 2には、Fig. 4における日単位の地表面から地下水面までの深さの統計値(期間内の最大値, 最小値, 平均値, 標準偏差, 最大日変化)を示す。Table 2によれば、地下水面の深さの変動幅は観測孔No. 4で最も大きく、最大で0.92mである。最大日変化は、観測孔No. 1, 4で大きく、これらは2日間の総降水量が227mmであった2005年9月5日から翌6日にかけて生じている。また、特に観測孔No. 1, 3, 4においては、1日から数10日程度の総降水量が約100mm以上のまとまった降水に対して、地下水面の深さが浅くなる期間が認められた(Fig. 4参照)。ただし、観測孔No. 1における地下水面の深さは、一部の期間で不規則に変化し、観測孔No. 3, 4における地下水面の深さの変動パターンと若干異なった。これについては、塚田[3]も指摘しているように、周辺井戸からの揚水による人為的な水利用が、この

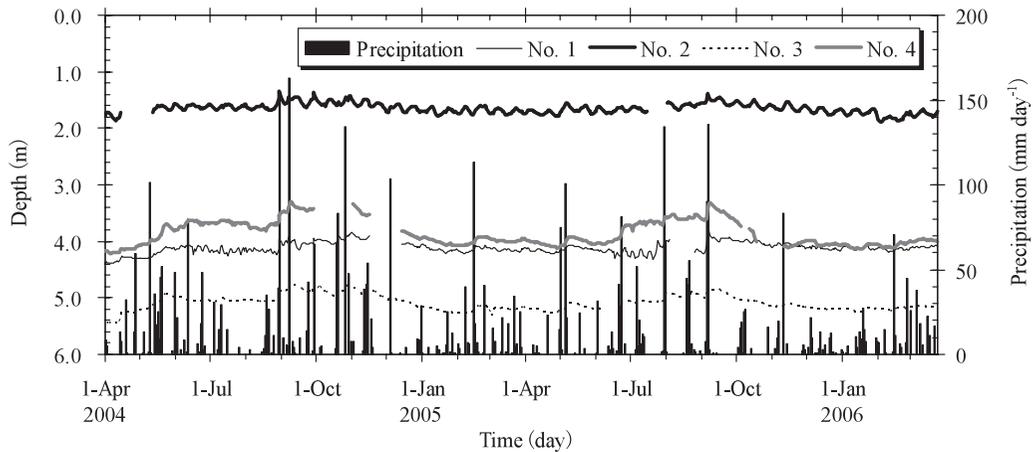


Fig. 4. Daily changes in depths from the ground surface to the groundwater table and precipitation

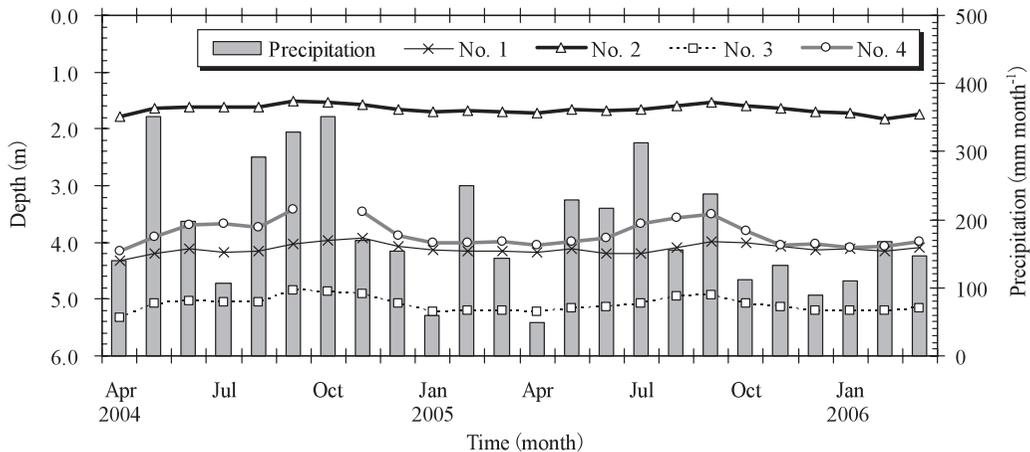


Fig. 5. Monthly changes in depths from the ground surface to the groundwater table and precipitation

Table 2. Statistical values for daily depths from the ground surface to the groundwater table from April 1, 2004 to March 24, 2006

Borehole No.	Max.	Min.	Mean	Standard deviation	Unit : m
					Max. daily change
No. 1	4.39	3.76	4.12	0.10	0.30
No. 2	1.89	1.35	1.65	0.09	0.13
No. 3	5.45	4.73	5.10	0.13	0.16
No. 4	4.21	3.29	3.86	0.22	0.20

地域における地下水面の深さの変動に影響をおよぼしていることが主な原因と考える。一方、観測孔 No. 2における日単位の地下水面の深さは、Table 2より変動幅および日最大変化はともに小さいが、Fig. 4に示すように周期的に変動しており、他の観測孔における地下水面の深さの変動パターンと異なっ

た。Fig. 6は、2005年1月1日から3月31日までの観測孔No. 2における地表面から地下水面までの深さおよび潮位の日変化を示している。Fig. 6によれば、観測孔No. 2における地下水面の深さの変動パターンは、1ヶ月に約2周期の大潮と小潮の変動パターンと一致することから、Fig. 4で認められる観

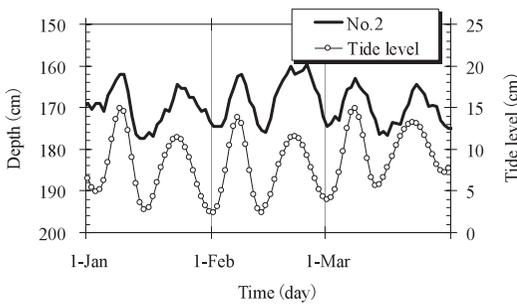
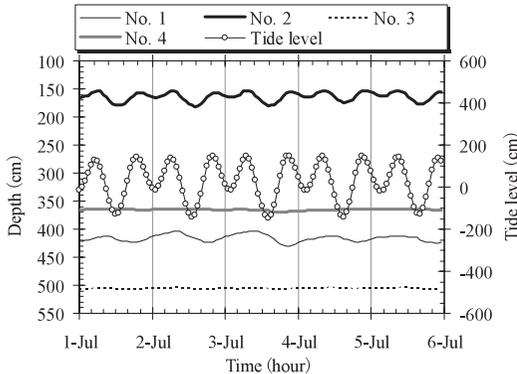
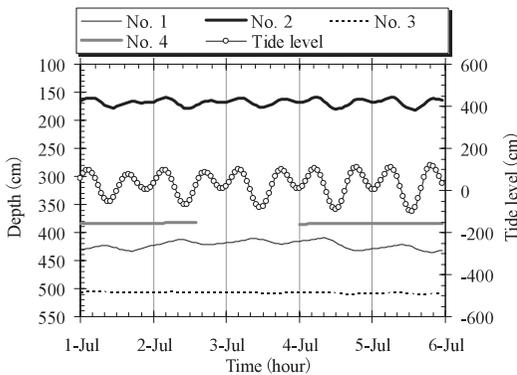


Fig. 6. Daily changes in depth from the ground surface to the groundwater table at borehole No.2 and tide level from January 1 to March 31, 2005



(a). July 1 to 5, 2004



(b). July 1 to 5, 2005

Fig. 7. Hourly changes in depths from the ground surface to the groundwater table and tide levels

観測孔No. 2における地下水面の深さの変動周期は、潮汐に起因するものである。なお、観測孔No. 1, 3, 4における日単位の地下水面の深さについては、潮汐との間に観測孔No. 2でみられるような関係は認められなかった。

Fig. 7は、2004年と2005年の7月1日から7月5日の5日間における各観測孔での地表面から地下水面までの深さおよび潮位の時間変化を示している。観測孔No. 1, 2における地下水面の深さは、それぞれ1日1周期および1日2周期の変動パターンを示す。この変動パターンは、潮汐にตอบสนองしているものと考えられ、潮汐の変動幅が大きい2004年においては、両観測孔における地下水面の深さの変動幅も大きくなっている。一般に潮汐による地下水面の深さの変動は、海岸から内陸にゆくにしたがって変動幅は減少し周期が遅れる[5]。したがって、観測孔No. 1, 2における地下水面の深さの時間変化は、主に観測孔から海岸線までの距離(Fig. 1, Table 1参照)の長短によって特徴づけられる。これに対して観測孔No. 3においては、海岸線までの距離が観測孔No. 1よりも短いにもかかわらず、Fig. 7に示す地下水面の深さの時間変化は小さい。この特徴については、塚田[3]が1992年に行った調査でも同様の結果が得られており、この地域の水文地質特性に起因するものと推察される。観測孔No. 4における地下水面の深さは、2004年および2005年の7月1日から7月5日においてほぼ一定である。

Fig. 8およびFig. 9は、2005年1月24日および2006年3月27日に4つの地下水観測孔で実測した電気伝導度と水温の鉛直分布を示している。観測孔No. 1, 4の電気伝導度は小さく、周辺の河川水の電気伝導度(甲突川下流域黒田川 $0.33 \text{ mS cm}^{-1}$ 、永田川下流 $0.17 \text{ mS cm}^{-1}$ )[1]と同等の値である。一方、観測孔No. 2における電気伝導度は、深さ65m付近で急上昇している。観測孔No. 2では、海までの距離(Fig. 1, Table 1参照)が短いことから、深さ65m付近での電気伝導度の上昇は、通常の海岸帯水層で観察される海水侵入に起因するものと推察される。海水の電気伝導度は約 $50 \text{ mS cm}^{-1}$ であり、海水侵入域はさらに下層と考えられる。観測孔No. 3における電気伝導度は、他の観測孔のそれよりも高い値を示している。観測孔No. 3においては、水温の鉛直分布についても下層で高い温度(約 $26^\circ\text{C}$ )となっており、塚田[3]の主要無機イオンのヘキサ・キヤダイアグラムでも、その水質組成および起源は、他の観測孔と異なることが示されている。これらのことから、観測孔No. 3の比較的高い電気伝導度と水温は、温泉水による影響と考える。

現地観測データに基づいて検討した4つの観測孔における地下水の特徴は、以下のように要約される。

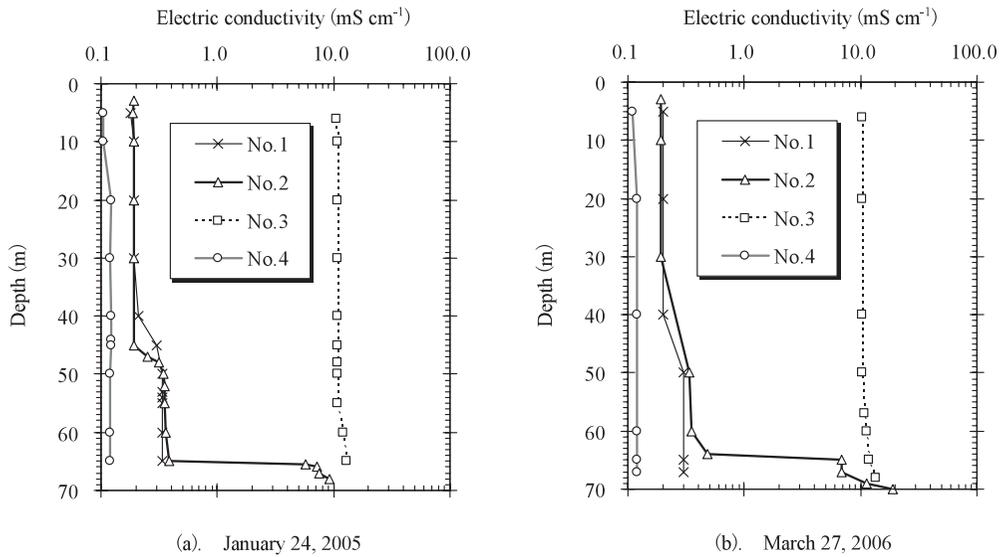


Fig. 8. Electric conductivities

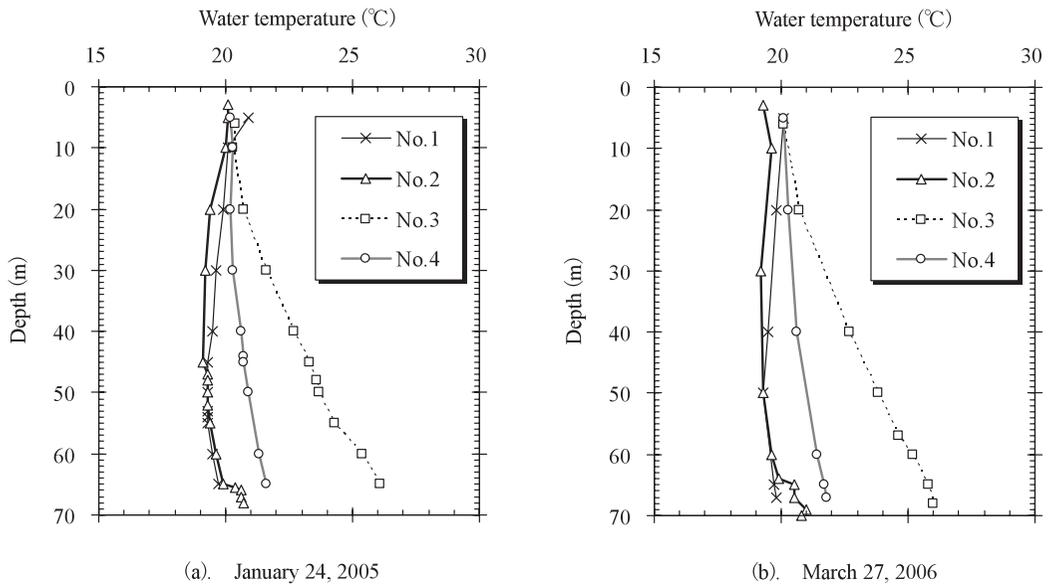


Fig. 9. Groundwater temperatures

鹿児島中央駅周辺の商業地域に位置する観測孔No. 1では、地表面から地下水面までの深さが一部の期間において不規則に変化した。この要因として、周辺井戸からの揚水による影響が考えられる。また、地下水面の深さの時間変化は、潮汐の影響によって1日1周期の変動パターンを示した。

海岸線から最も近い位置にある観測孔No. 2では、

地表面から地下水面までの深さが潮汐の大潮小潮と半日周期の干満に応じて変化した。また、地表面下65m以深の電気伝導度は比較的高く、海水侵入による影響が考えられる。

観測孔No. 3では、地表面から地下水面までの深さが比較的降水量に応じて変化した。また、地下水の電気伝導度および水温が高く、水質組成および起

源は、他の観測孔と異なると考えられる。

比較的内陸部に位置する観測孔No. 4では、降水量が地表面から地下水面までの深さの変化におよぼす影響が最も大きかった。また、地下水面の深さの変動幅は4つの観測孔の中で最も大きく、最大で0.92mであった。

以上より、鹿児島市内の4つの地下水観測孔における地下水面の深さの変動、電気伝導度および水温は、その地域の水利用状況や水文地質特性によって異なる特徴を示した。しかし、各観測孔においては、2004年4月から2006年3月の2年間において、地下水面の深さの変動、電気伝導度および水温に大きな変化はなく、本観測結果からは地盤沈下や地下水の枯渇または塩水化などの地下水障害に結びつく明らかな現象は認められなかった。鹿児島市においては、今後も都市化の進展に伴う上水および各種産業用水としての地下水利用量の増加が予想されるため、継続した地下水環境のモニタリングが望まれる。

#### 謝 辞

本報告における地下水観測の実施に際し、観測の機会を与えていただいた鹿児島市環境局環境部環境保全課および観測方法について指導いただいた鹿児島大学教育学部自然地理学研究室の関係各位に、ここに記して感謝申し上げます。また、本原稿を校閲いただいた鹿児島大学農学部教授高木東先生およびデータの収集整理に協力いただいた鹿児島大学大学院利水工学研究室藤山宗君(現株式会社三祐コンサルタンツ)に深く感謝します。

#### 引 用 文 献

- [1] 鹿児島市環境保全課：鹿児島市の環境平成15年版(2003)
- [2] 岡 太郎, 菅原正孝：都市の水環境の新展開. 1-2, 技報堂出版, 東京(1994)
- [3] 塚田公彦：鹿児島市観測井におけるドラム式自記水位計による地盤沈下状況観測及び調査平成4年度調査研究結果報告書(1993)
- [4] 通商産業省福岡通商産業局：昭和59年度鹿児島地域地下水利用適正化調査報告書(1985)
- [5] 山本荘毅：地下水水文学. 60-61, 共立出版, 東京(1992)

## Study on Groundwater in Kagoshima City based on In Situ Observations

Yuji ITO, Kazuro MOMII<sup>†</sup>, and Jun KOBAYASHI

(*Laboratory of Water Use Engineering*)

### Summary

Successive monitoring of groundwater quality and quantity is essential for the conservation of groundwater as valuable fresh water resources because further groundwater utilization is expected due to progressive urbanization. Observations of depths from the ground surface to the groundwater table and vertical profiles of electric conductivity and water temperature were conducted at four observation boreholes (Nos. 1 to 4) in Kagoshima City from April 2004 to March 2006. The depth to the groundwater table at borehole No. 1 in the commercial area near the central station is affected by the artificial pumping from wells around it. The effect of the tide was involved in the daily change in depth to the groundwater table at borehole No. 2 which is the nearest to the seafloor, while the effect of precipitation appeared in the variation of the depths to the groundwater table at borehole Nos. 3 and 4 which are located in relatively inland areas. No significant differences were found in the depth to the groundwater table, the electric conductivity, nor the water temperature observed in 2005 and 2006. It is concluded that groundwater deterioration such as groundwater salinization or groundwater depletion was not recognized from the two-year observation in this study.

**Key words :** Groundwater, Observation borehole, Monitoring, Groundwater deterioration, Water resources

<sup>†</sup>: Correspondence to: Kazuro MOMII (Laboratory of Water Use Engineering)

Tel : 099-285-8692, E-mail : momii@agri.kagoshima-u.ac.jp