

## 堆積平野の水理地質環境

### Hydrogeological environment in the sedimentary basin.

内田洋平<sup>1\*</sup>・吉岡真弓<sup>1</sup>・町田 功<sup>1</sup>・井川怜欧<sup>1</sup>・越谷 賢<sup>1</sup>・丸井敦尚<sup>1</sup>・丸谷 薫<sup>2</sup>  
徳永貴大<sup>3</sup>・利部 慎<sup>3</sup>・嶋田 純<sup>3</sup>・阿部博昭<sup>4</sup>・近藤昭彦<sup>4</sup>

Youhei Uchida<sup>1\*</sup>, Mayumi Yoshioka<sup>1</sup>, Isao Machida<sup>1</sup>, Reo Ikawa<sup>1</sup>, Masaru Koshigai<sup>1</sup>,  
Atsunao Marui<sup>1</sup>, Kaoru Marutani<sup>2</sup>, Takahiro Tokunaga<sup>3</sup>, Makoto Kagabu<sup>3</sup>, Jun Shimada<sup>3</sup>,  
Hiroaki Abe<sup>4</sup> and Akihiko Kondo<sup>4</sup>

**Abstract:** Three-dimensional hydrogeological database of Ishikari Plain, Kumamoto Plain and Fukuoka Plain were constructed to understand hydrogeological environment and correlation with active faults in the plain. As for the Ishikari Plain, three-dimensional hydrogeological model was constructed using existing geological database, boring data and seismic exploration data. Then, groundwater quality data had been compiled and input to the three-dimensional model to classify groundwater quality into stratigraphically. As for the Kumamoto Plain, groundwater samplings for chemical analysis and subsurface temperature measurements for thermal analysis had been carried out in situ. Moreover, existing hydrological data in the Fukuoka Plain had been compiled to estimate relation between groundwater chemical composition and fault zones.

**Keywords:** sedimentary basin, hydrogeological environment, subsurface temperature, groundwater quality

#### 要旨

石狩平野、熊本平野および福岡平野における水理地質環境を高精度に把握し、活断層や潜在する断層との関連について確認するため、地下水の調査・研究を実施した。石狩平野については、沿岸域堆積平野の水理地質構造を既存のデータベース、基礎試錘データや地震探査データ等から地球統計学的手法に基づき推定し、三次元水理地質モデルを作成した。次に作成した三次元水理地質モデルにコンパイルした水質データを入力し、地質区分毎に水質を確認した。熊本平野については、現地において水文調査を実施し、一般水質と酸素・水素安定同位体比分析のための地下水サンプリング、および地下温度構造解析のための地下温度測定を実施し、水文環境データの収集・解析を行った。また、福岡平野については、平野の北部に分布する活断層と水質との関係を把握するため、既存の水文データを収集しコンパイルした。

#### 1. はじめに

沿岸域の地下水は、塩水と淡水のそれぞれが異なるドライビング・フォースを持って存在しているため、その環境は複雑である。また、浅層部に断層などの構造が存在する場合、地下水の流動はその影響を受け、地下水環境をより複雑にする。断層は、地質層序境界と同様に地下水流動の境界となる可能性がある。断層の存在は地下水流動を阻害するだけでなく、反対に水みちとして地下水流動を卓越させる場合もあり、地下水データの広域分布には、断層に沿った地下水データの異常値の分布が確認されることがある。このように、地下水データの分布から断層の存在を推定することが可能であるが、一般に地下水データの取得地点は井戸の分布に制限されるため、広域における地下水データを把握・解析するためには、既存の資料収集とデータベース化が不可欠である。

本研究においては、平成 21 年度に引き続き北海道・

\* Correspondence

<sup>1</sup>産業技術総合研究所 地質調査総合センター 地圏資源環境研究部門 地下水研究グループ (AIST, Geological Survey of Japan, Institute for Geo-Resources and Environment, Groundwater Research Group)

<sup>2</sup>(地独) 北海道立総合研究機構地質研究所 (Geological Survey of Hokkaido)

<sup>3</sup>熊本大学自然科学研究科 (Graduate School of Science & Technology, Kumamoto Univ.)

<sup>4</sup>千葉大学環境リモートセンシング研究センター (Center for Environmental Remote Sensing, Chiba Univ.)

石狩平野，九州・熊本平野および福岡平野を対象とし，水文データの収集（現地調査と既存の過去データ）およびコンパイルを行った．石狩平野については，三次元水理地質構造を把握するため，当該モデルを作成した．同時に，作成した三次元水理地質構造モデルへ入力することにより，第四系内の水理地質環境の三次元的なデータの可視化を行った．

## 2. 石狩平野における水文データベース構築

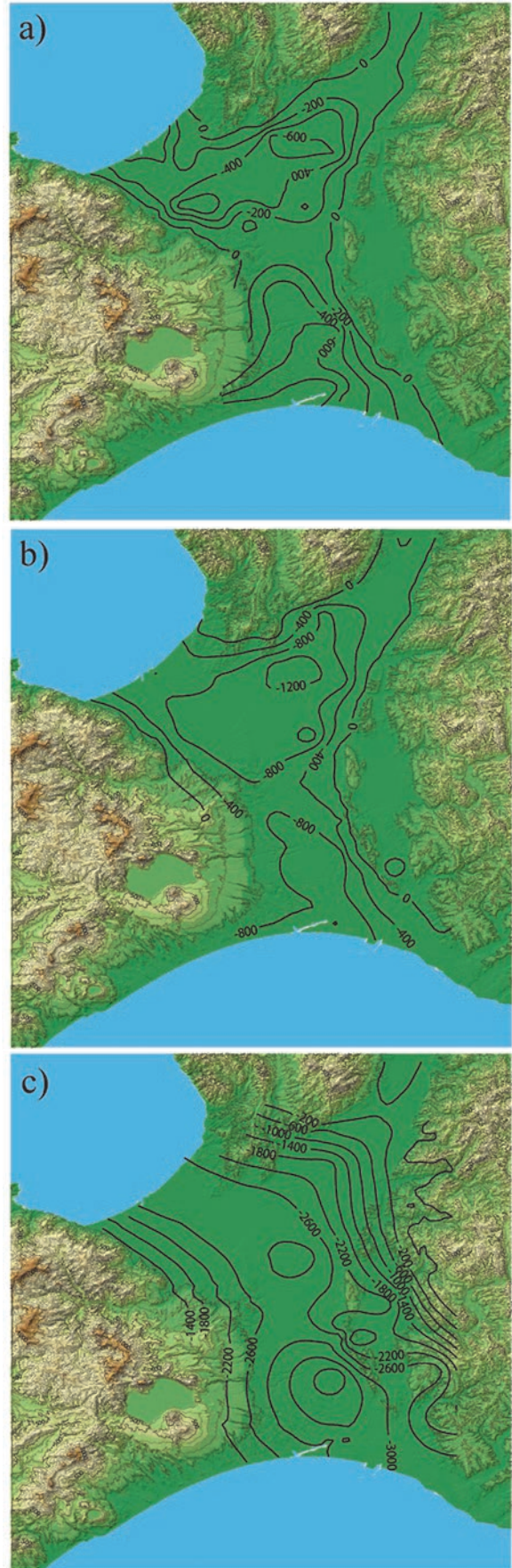
石狩平野においては，堆積層の三次元水理地質構造モデルに加え，水文データベースを構築した．入力したデータは北海道立地下資源調査所（1996）を用い，コンパイルしたデータの総数は，現時点で約 2300 件である．昨年度は第四系内の地下水水質分布を示したが，本年度は鮮新統および中新統内の地下水の水質分布を述べる．加えて，201～800m 深と 800m 以深の領域に区分したときの水質分布を報告する．

### 2.1 3次元地質構造の推定および水文データ

ある深井戸から採取されている地下水が，第四系，鮮新統，中新統のうち，いずれの地層に胚胎されているものなのかを決定することは難しい．なぜなら，その地点の地質年代の鉛直変化が明らかになっていることは少ないためである．

鮮新統もしくは中新統内の地下水水質分布を求めるといふ目的を達成するためには，まず 3 次元的な地下地質分布を明らかにし，この地下地質分布と井戸スクリーン深度を比較する必要がある．3 次元的な地下地質構造については，現在，越谷（未発表）が，既存ボーリングからクリギング法による補間をおこなうことによって推定をおこなっている（越谷モデル）．越谷モデルに用いられているボーリング資料は，矢野ほか（1989），坂川ほか（2004），防災科学技術研究所（2009），丸井（2000），その他の論文および報告書である．

越谷モデルでは，地層を H（完新統），Q3（上部更新統），Q2（中部更新統），Q1（下部更新統），N3（鮮新統），N2（上部～中部中新統），N1（中部～下部中新統）に区分しているが，本報告に関連するのは，Q1 と N3 の間と N3 と N1 の間の深度領域である．そこで，Q1，N3，N1 の基底面を描画した（Fig. 1）．これら 3 つの基底面の大きな違いとして，Q1 では長沼町～広島町間を境界として南北に 2 つの凹構造が認められるのに対し，N1 では 2 つの凹構造が南北に



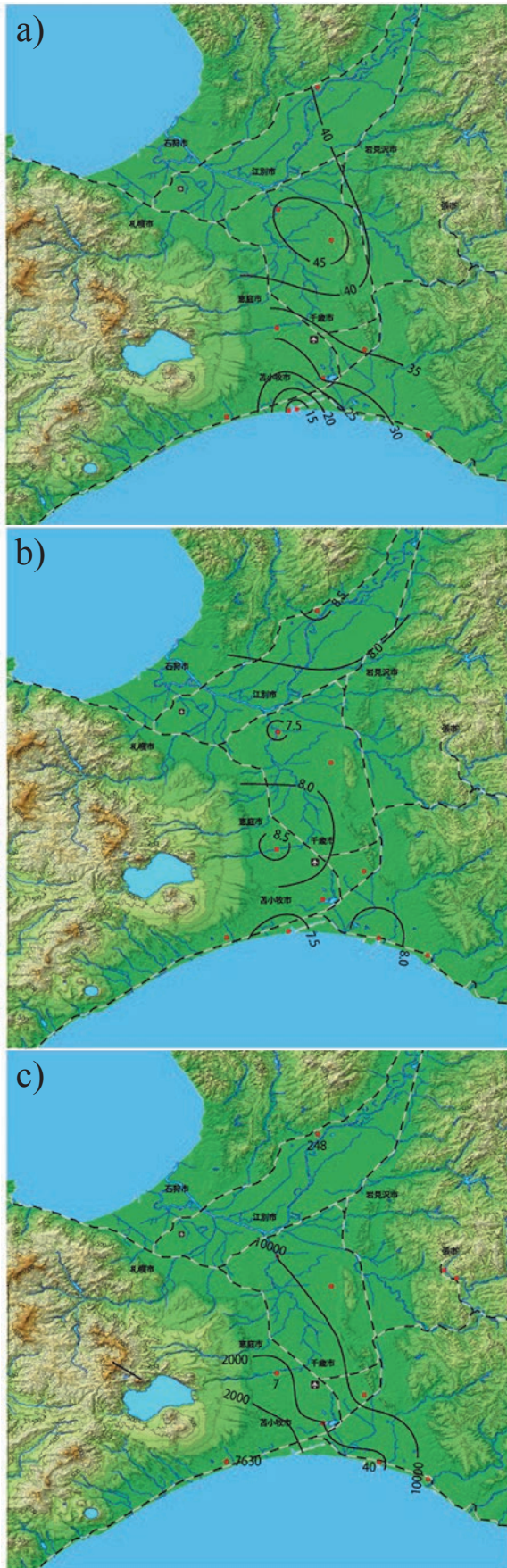
第 1 図 石狩平野における第四系および新第三系基底面図（m）： a) Q1 基底面，b) N3 基底面，c) N1 基底面．

Fig.1 Contour maps of base plain of the Quaternary and Tertiary system (m): a) Q1, b) Q2, and c) N1, respectively.









第 5 図 801m 以深における水質分布:a) 水温 (°C), b) pH, c) Cl (ppm).

Fig.5 Distribution of groundwater qualities at the depths under 801m : a) temperature (°C), b) pH, and c) Cl (ppm), respectively.

### 3. 石狩平野の地下温度構造

地下水位・地盤沈下観測井において、デジタルサーミスタ温度計（分解能 0.01℃）を用いて、観測井内の水面から孔底まで 2m 間隔で水温を測定した。測定された孔内水温を用いて地下温度を議論するにあたり、観測井孔内の対流による温度攪乱の影響を排除する必要がある。谷口（1987）は、半径 10cm 以下の観測井において、井戸孔内の自己対流による温度攪乱の影響は無視できるとした検証結果を示した。今回、測定の対象とした観測井の半径は全て 10cm 以内であり、したがって、各深度の孔内水温はその周囲の地下温度（地層温度）として扱うことが可能であると判断した。

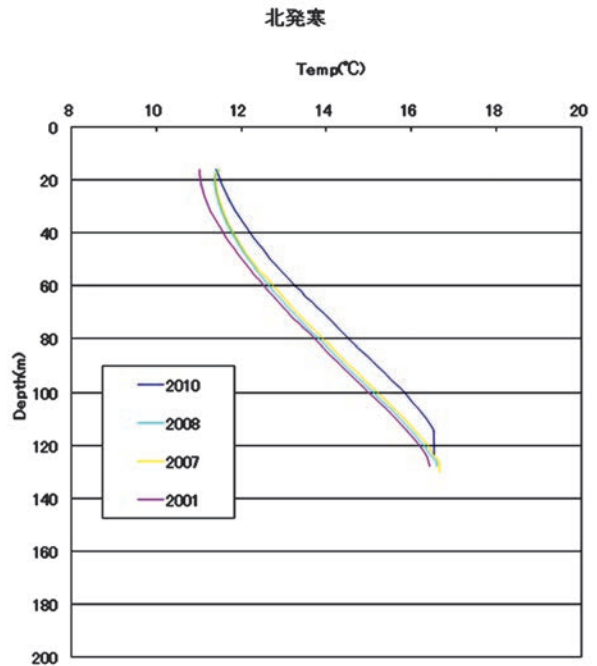
地下温度－深度プロファイルのカーブタイプを用いた地下水流動解析は、Bredehoeft and Papadopulos（1965）をはじめとして多くの方法が提案されている。ここでは図解法により（1）凹曲線－涵養型、（2）凸曲線－流出型、（3）直線－滞留または側方流動型、および（4）その他の 4 種類に分類した（長谷川, 2009）。北発寒（Fig. 6）は（1）涵養型の代表的なタイプである。このようなタイプの観測井は平野西部の山麓域に分布する。（2）流出型は平野北東部の石狩川沿いの地域、（3）中間型はおもに平野中央部に分布する。地下温度プロファイルタイプの空間分布（Fig. 7）から、平野西部付近で地下水が涵養され、中央部を経て北東部に流出する大局的な地下水流動系の存在が推定される。

2008 年の平面地下温度分布（Fig. 8）から、平野中央部で相対的に温度が低く、平野東部の石狩川沿いで最も温度が高くなることが明らかとなった。平野西部の山麓付近での高温域は、研究地周辺の地熱環境に影響されていると考えられる。石狩低地中央とその西側の山地ではそれぞれ極めて低い熱流量、極めて高い熱流量地帯が局在することが報告されており（西田, 2007）、この 2 つの地域では地温勾配も大きく異なることが推測される。平野西部山麓付近の高温ゾーンには、山地の高い熱流量を有する地域で涵養された地下水がこの地域の深層へ流入している可能性が高い。海岸付近で高温域が東側へ張り出していることも、山地からの地下水供給の影響を裏付けているものと考えられる。一方、研究地の南部には 10.0～11.0℃の広範囲な低温帯が形成されている。この地域では豊平川の比較的低温な河川水が涵養され、扇状地地下に

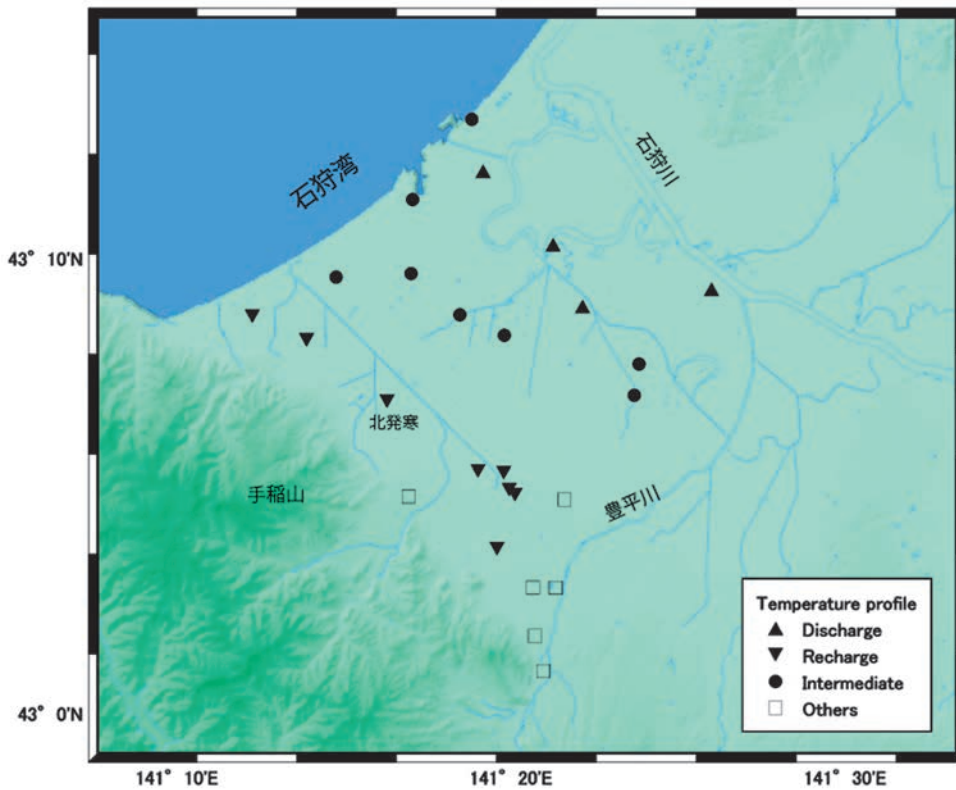
その影響が及んでいると考えられる。豊平川河川水の伏流は尾崎ほか（1965）の調査でも指摘されており、藻岩山付近から豊平橋に至るまでの区間でその傾向が認められると報告されている。

北発寒（Fig. 6）では2001～2010年の10年間に地下温度の上昇傾向が確認されている。こうした温度変化の要因としては、揚水による地下温度の攪乱や市街地化による表面－地中熱流量の変化が挙げられる。内田（1999）は数値解析の結果、一定量の揚水条件下において、地下温度分布に揚水の影響が明確に現れるには約100年という時間を要することを明らかにしている。石狩平野で地下水位の低下が明らかになったのは1960年代頃である。また、札幌市北部から石狩湾岸地域にかけて自噴帯の存在が報告されている（山口，1964）。これらの事実を考慮すると、平野内の揚水は本格化してから最大で50年程度しか経過していないと考えられ、したがって地下温度分布変化に対する地下水揚水の影響の程度は少ないと思われる。地下温度変化タイプの空間分布（Fig. 9）から、温度が上昇した地点はいずれも都市域もしくはそれに隣接した宅地であり、地表面の土地利用変化が進行している地域である。反対に温度変化が認められなかった地

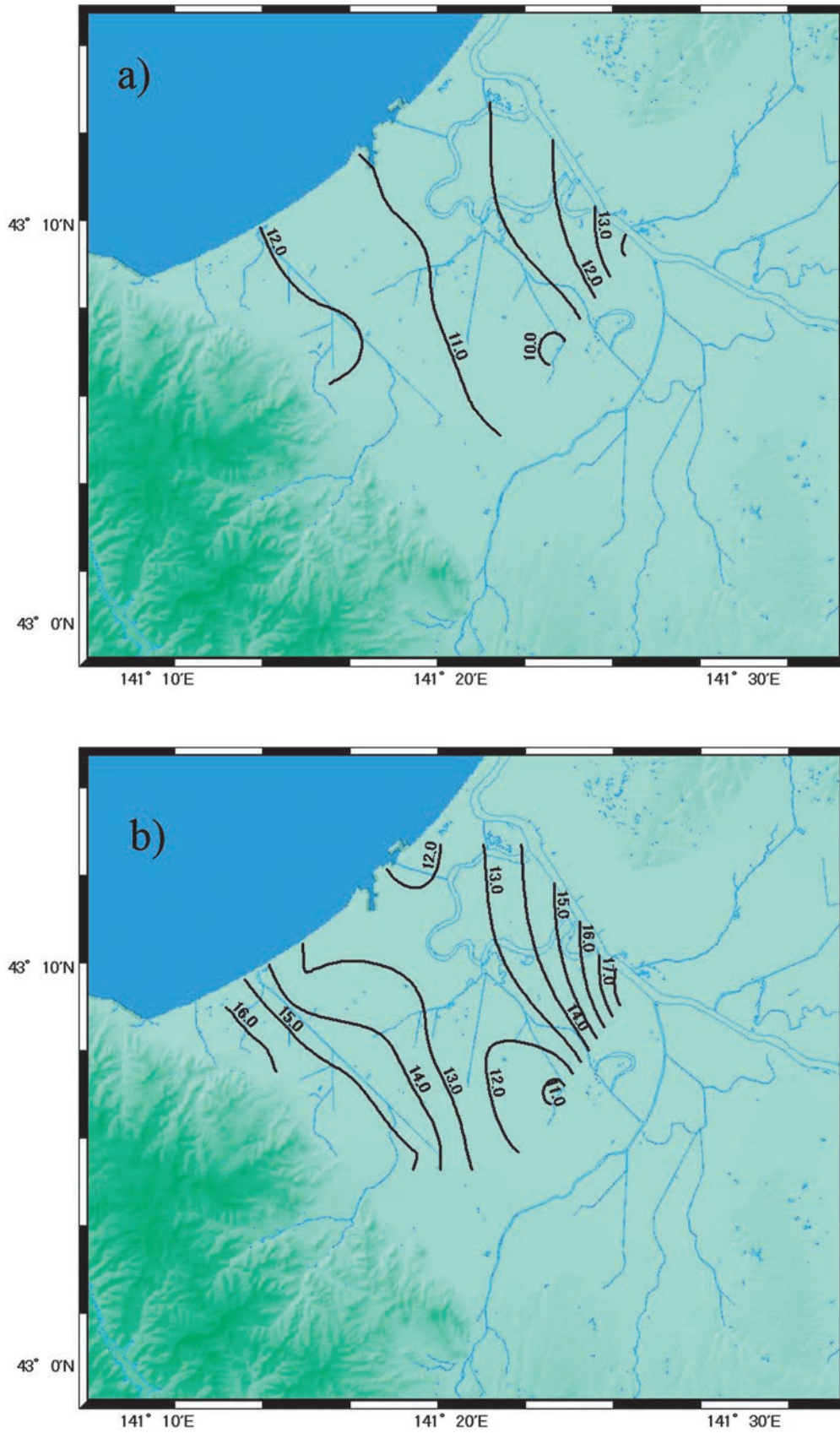
点は海岸地域に集中している。このことから、地下温度の経年上昇は地表面の市街地化による地中熱流量の変化が原因と推察される。



第6図 地下温度プロファイル（北発寒）.  
Fig.6 Temperature - depth profile at Kitahassamu.



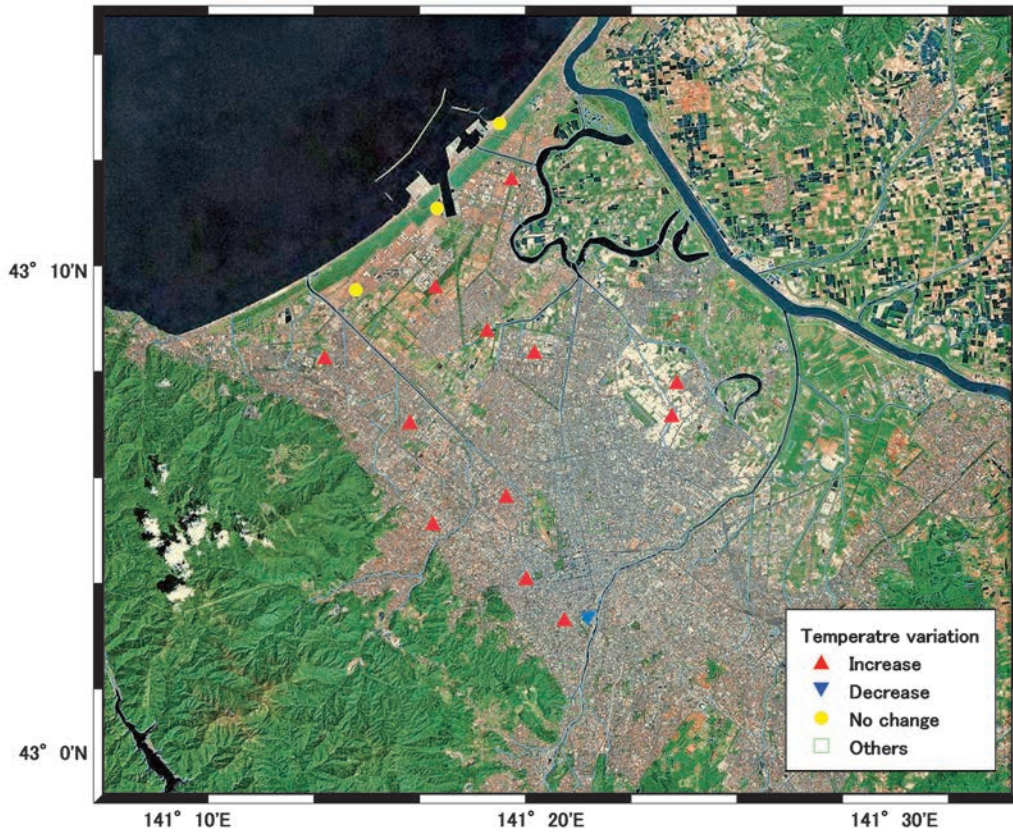
第7図 地下温度プロファイルタイプの空間分布.  
Fig.7 Distribution of temperature profiles as classified into four types.



第 8 図 地下温度分布 : a) 標高-50m, b) 標高-100m

Fig.8 Horizontal distribution of subsurface temperature (°C) at a) 50m and b) 100m below sea level.





第9図 地下温度経年変化タイプの空間分布.

Fig.9 Distribution of temperature variation as classified into four types.

#### 4. 熊本平野における地下温度および地下水質データ調査

熊本平野の地下温度データおよび地下水質データを収集するため、2009～2010年にかけて、熊本県が管理する井戸（8点）、国土交通省が管理する井戸（14点）および熊本市が管理する井戸（12点）の地下水質の測定および地下温度プロファイルの測定を行った。測定地点を Fig. 10 に示す。ここでは、第一帯水層の地下水を浅井戸、第二帯水層の地下水を深井戸と区分する。なお、本報告の一部は、日本水文科学会学術大会（徳永ほか、2010）において発表したものである。

##### 4.1 地下温度データ

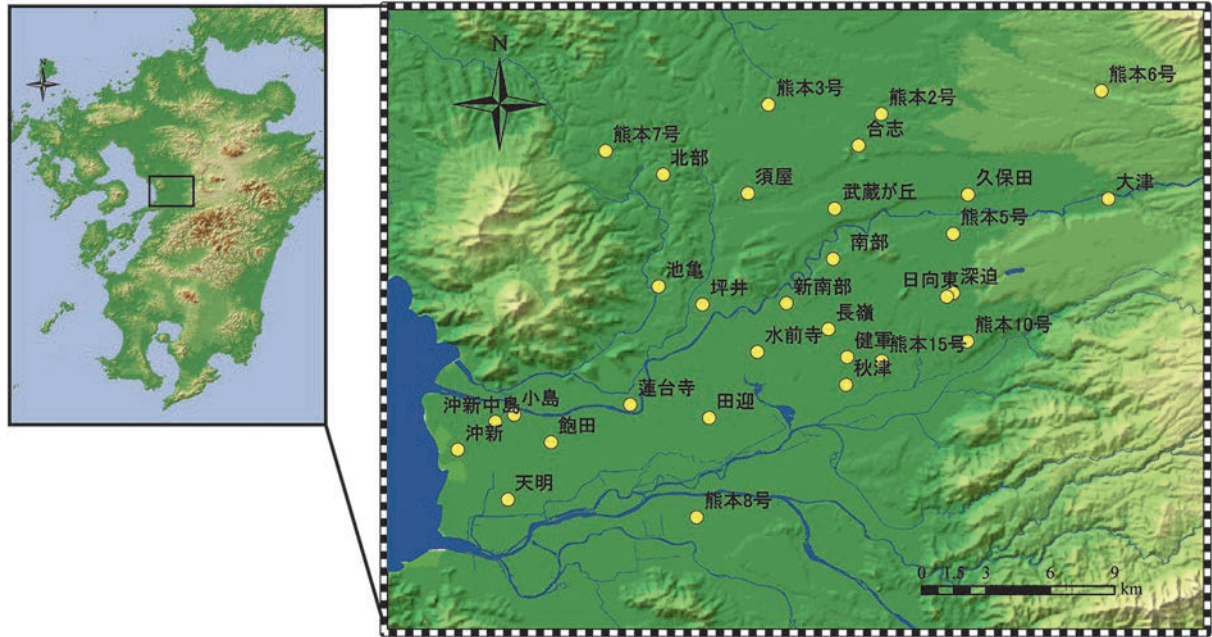
地下温度プロファイルを測定できた井戸は、上記の井戸のうち、合計 23 点であった。温度測定にはデジタル・サーミスタ温度計（測定精度±0.01℃）を使用し、地下水水面下 1～2m のところから深度 2m 毎に観測井内の水温を計測した。

各地点の地下水温度プロファイルを Fig. 11 に示す。

測定点のうち、観測井の構造上、浅部のみしか測定できなかった点については示していない。本研究地域では、地下水温の鉛直プロファイルの形状と温度勾配から流出域型、涵養域型、中間型の 3 つに分類できることが報告されている（島野ほか、1989；谷口ほか 1989；Taniguchi et al., 2003）。今回の測定では、熊本平野西部から南西部で流出域の特徴を持つ温度プロファイルが得られた。また、北部では涵養域の特徴を示す温度分布が得られており、これらの分布は、Taniguchi et al. (2003) で報告されている温度分布形状と整合的であった。

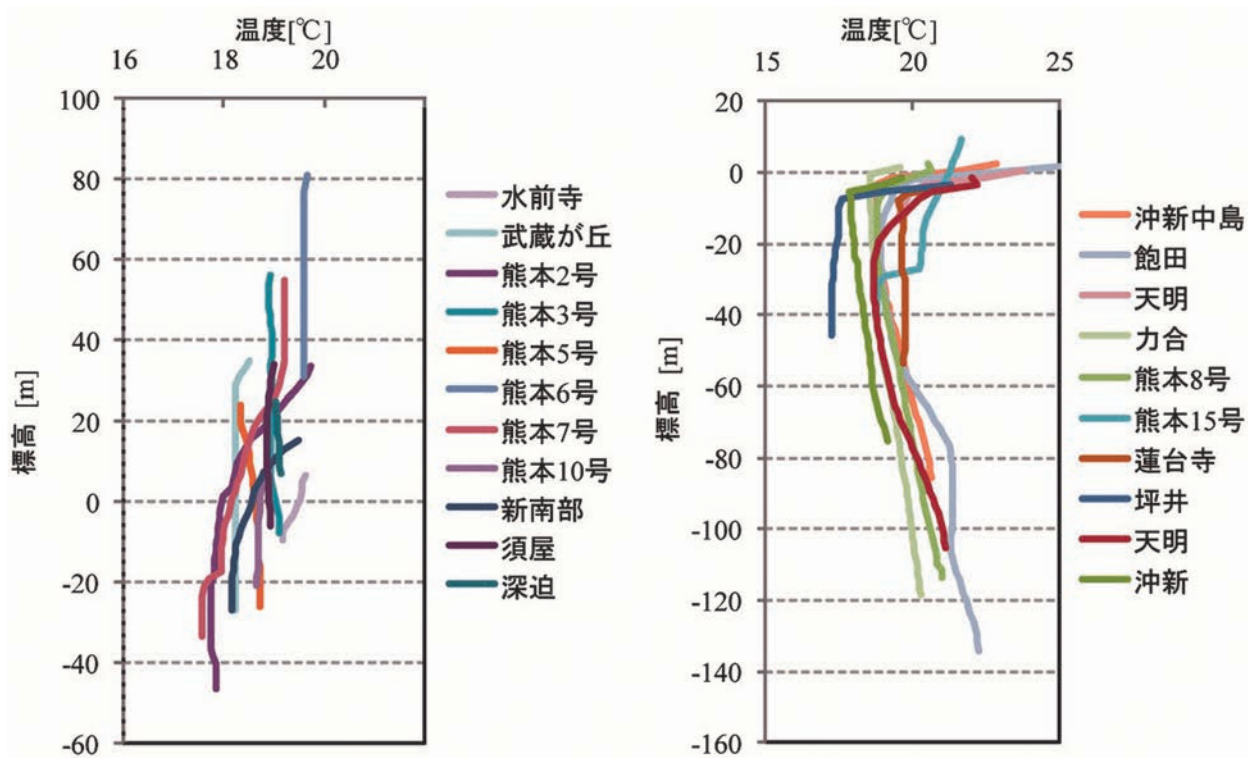
##### 4.2 水質データ

水質調査に関しては、2009年11月に行った熊本県および国土交通省の観測井のうち、採水が可能であった 20 地点の結果について報告する。熊本県の井戸についてはベラー（採水器）を、国土交通省の井戸についてはエアリフトおよびエンジンポンプを用いて、水質、酸素・水素安定同位体比の分析用の採水（各 100ml）を行った。現地では、電気伝導度、pH、ORP および DO の測定を行った。



第 10 図 熊本平野における測定地点の分布.

Fig.10 Location of observation wells in Kumamoto Plain.



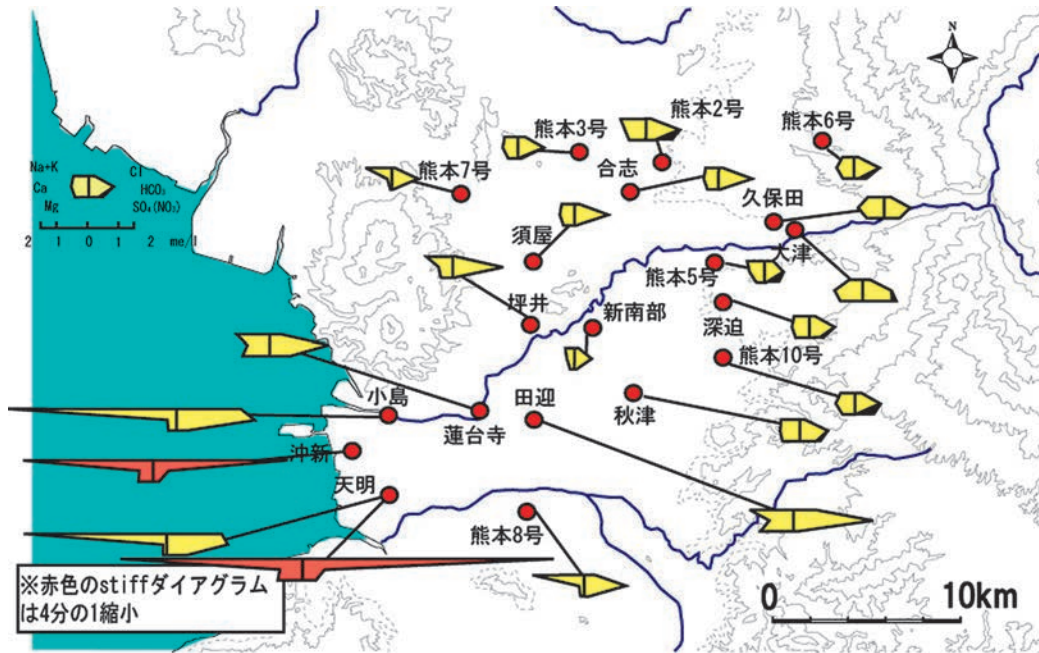
第 11 図 地下温度プロファイル.

Fig.11 Temperature-depth profiles.

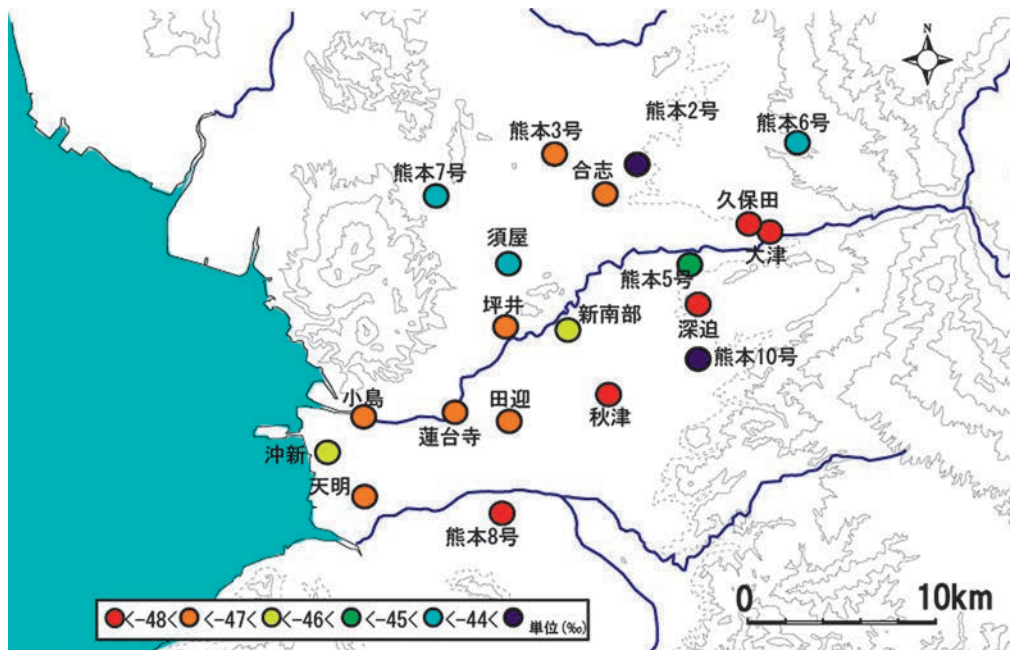
深井戸における stiff ダイアグラムを Fig. 12 に示す。台地から低地へと向かう地下水の流動に伴って溶存イオン量が増加していく傾向が認められる。海岸付近では、Na-HCO<sub>3</sub> 型を示す滞留時間の長いと考えられる地下水や、Na-Cl 型を示す海水の混入が推定される地下水の存在が認められた。また、白川中流域以南の地下水は比較的 SO<sub>4</sub> 濃度が高く、この特徴は江津湖周

辺の地下水にまで続いている。これは、阿蘇火山に源流域をもち、相対的に高濃度の SO<sub>4</sub> を有する白川の河川水が灌漑等で涵養されることに起因していると考えられる。

深井戸の水素安定同位体比の平面分布図を Fig. 13 に示す。水質と同様に白川中流域から秋津付近にかけて相対的に同位体比の軽い地下水が存在している



第 12 図 深井戸における stiff ダイアグラム。  
Fig.12 Distribution of Stiff diagrams in deep wells.



第 13 図 深井戸における水素安定同位体比の平面分布図。  
Fig.13 Horizontal distribution of δD in deep wells.

ことが分かる。白川の安定同位体比 ( $\delta^{18}\text{O}$ : -8.1‰,  $\delta\text{D}$ : -52‰) が軽いことを考慮すると、灌漑用水等により涵養された白川の河川水が寄与していると思われる。

Fig. 14 に A-A' 断面 (Fig.10) の水質と水素安定同位体比の鉛直分布を示す。採水した深度毎に stiff ダイアグラムをプロットし、同時に水素安定同位体比を示している。涵養域である大津や深迫の  $\text{SO}_4$  濃度が秋津まで高い濃度であるため、白川中流域低地で涵養された灌漑用水の影響が及んでいると考えられる。また、水素安定同位体比も -49‰前後の値を示すことから、大津からの流れが江津湖周辺で流出すると推察される。また、江津湖は田迎と類似した水質パターンを示すことから、江津湖に湧出した水が再び第一帯水層中に涵養していると考えられる。

田迎の深井戸の溶存イオン成分と水素安定同位体比をみると、蓮台寺における深井戸の地下水と類似している。どちらの試料も Aso-4 と称される阿蘇火砕流堆積物中の帯水層から採水されたため、地下水が田迎から蓮台寺に向かって Aso-4 帯水層中を流動していると思われる。

蓮台寺の鉛直地下水温度をみると深さ 28m~30m で 0.17℃と急激に温度が変化する位置が存在している。このことから、深度 29m 辺りを境に帯水層が分かれていることが考えられる。蓮台寺の深井戸の地下水は、田迎からの地下水と推定されるが、田迎では鉛

直地下水温に同様の変化は見られず、蓮台寺の浅井戸の地下水は別のルートから流動してきた可能性がある。水質や安定同位体比の値が坪井の地下水と類似していることから、白川より北部から地下水が流動してきた可能性もある。

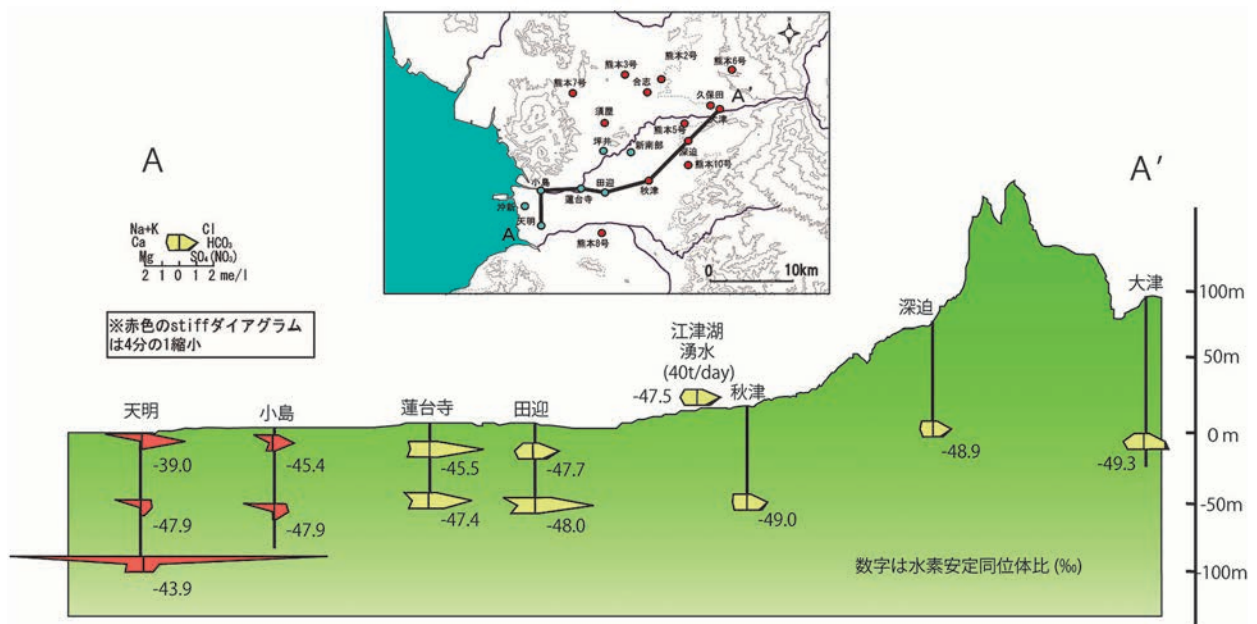
海岸付近の地下水は溶存イオン成分が高く、 $\text{Na-HCO}_3$  型と  $\text{Na-Cl}$  型を示し、流動性に乏しく停滞性の地下水と考えられる。

### 5. 福岡平野周辺の地下水観測井および水質データ

福岡平野およびその周辺に存在する地下水質データの収集を行った。地下水観測井および水質データは、以下の資料・文献から総数 802 個のデータを収集した。

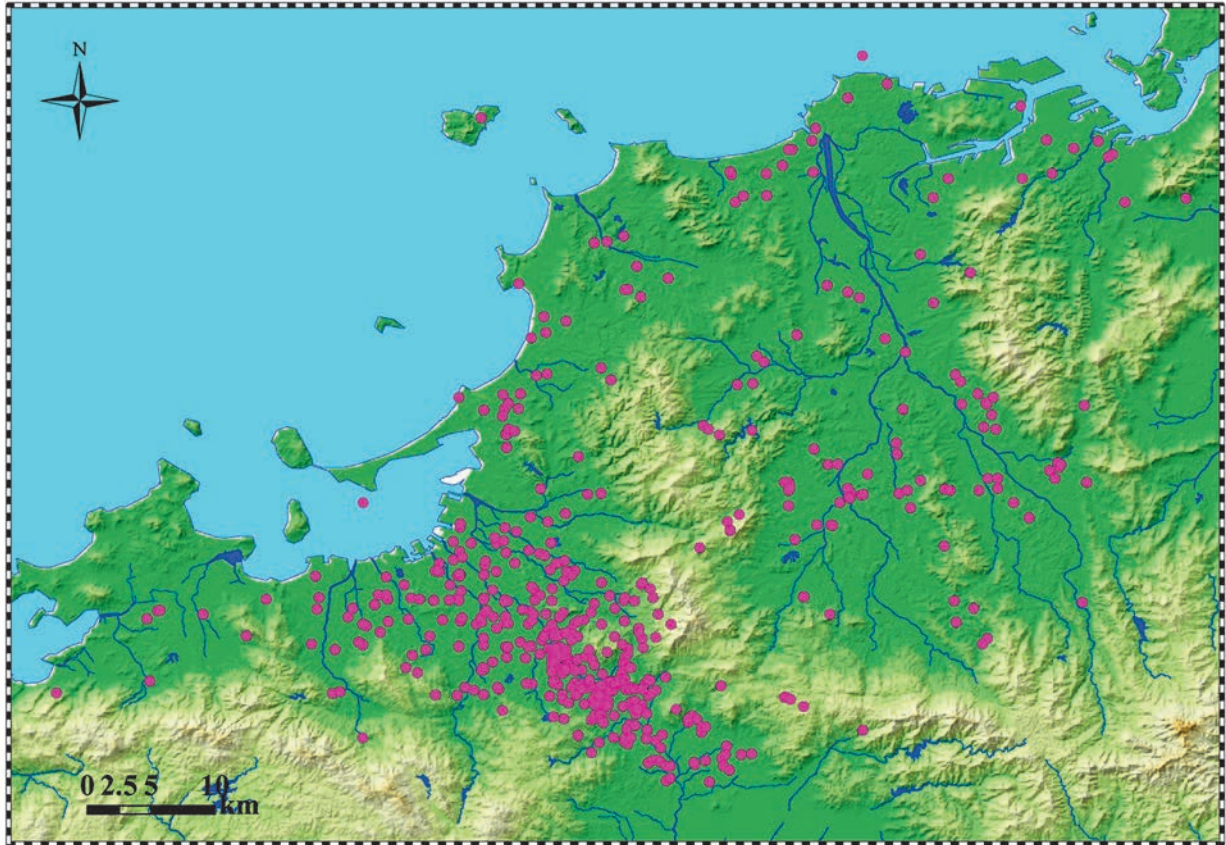
- 独) 産業技術総合研究所「いどじびき」
- 地質調査所(1986)「温泉分析書 福岡県(1)」
- 建設省河川局編(1986)「地下水技術協会」
- 地調月報(1966)「佐賀・福岡県筑後平野東部地域における工業用地下水源」
- 福岡県衛生研究所報(1953)「温泉中分析試験」
- 福岡県衛生研究所報(1956)「福岡県下に於ける温泉分析例」
- 福岡県衛生研究所報(1968)「温泉分析」
- 福岡県衛生研究所報(1959)「温泉分析試験」
- 福岡県衛生研究所報(1965)「鉱泉分析」

これらのデータのうち、井戸深度やスクリーン情



第 14 図 主要イオン成分、水素安定同位対比の鉛直分布。

Fig.14 Vertical profiles of Stiff diagram and  $\delta\text{D}$ .



第 15 図 福岡平野における水質データ分布。

Fig.15 Distribution of data point in the Fukuoka Plain.

報がないものを除き、最終的には地下水質に関する 769 個のデータをコンパイルした。コンパイルした観測井の位置を Fig. 15 に示す。

## 6. まとめ

沿岸域の地質・活断層と水文環境との関係を明らかにするため、昨年度に引き続き、石狩平野において、作成した三次元水理地質モデルにコンパイルした水質データを入力し、地質区分毎に水質を確認した。また、地下温度構造解析を行い、同平野の地下温度分布には広域地下水流動系の影響が現れていること、過去 10 年間の地下温度の変化は、土地利用の変化や都市化の影響が現れていることを明らかにした。熊本平野については、現地において水文調査を実施し、一般水質と酸素・水素安定同位体比分析のための地下水サンプリング、および地下温度構造解析のための地下温度測定を実施し、水文環境データの収集・解析を行った。水質、酸素・水素安定同位体比と地下水温を複合的に用いることで、より詳細に地下水流動を推定することが可能になるとと思われる。また、福岡平野については、平野

の北部に分布する活断層と水質との関係を把握するため、既存の水文データを収集しコンパイルした。

H23 年度は、収集・コンパイルした水文データと活断層との分布を比較検討し、水質の分布特性と活断層との関係を明らかにする予定である。

## 文献

Bredehoeft JD, Papadopoulos IS (1965) Rates of vertical groundwater movement estimated from earth's thermal profile. *Water Resour Res*, 1 (2), 326-328.

国交省全国地下水資料台帳。

小原常弘 (1992) 地質系統と水理定数・水質—北海道の畑作振興地下水調査から—, 地下資源調査所調査研究報告, No.24, 99p.

酒匂純俊, 和気 徹, 早川福利, 二間瀬 洌, 横山英二, 松波武雄, 齊藤尚志, 内田 豊 (1977) 北海道の地熱・温泉 (B) 西南北海道北部, 地下資源調査所調査研究報告, 4, 198, 2sheets, 北海道立地下資源調査所。

- 二間瀬 洌, 松波武雄 (1985) 北海道の地熱・温泉  
— 1985 年・I 版—, 北海道立地下資源調査所  
研究報告, No.15, 98p., 北海道立地下資源調  
査所.
- 深見浩司 (2009) 地質系統と水理常数・水質その 2  
—北海道の畑佐久振興深層地下水調査から—,  
北海道立地質研究所報告, No.80, pp.187-  
183.
- 長谷川雄太 (2009) 北海道石狩低地における地下の  
熱環境変化と地下水流動系. 千葉大学大学院理  
学研究科修士論文, 50p.
- 北海道立地下資源調査所 (1995) 北海道市町村の地  
熱・温泉ボーリング—地域エネルギー開発利用  
施設整備事業— (昭和 55 年度～平成 5 年度),  
256p., 北海道立地下資源調査所.
- 北海道立地質研究所 (2004) 北海道市町村の地熱・  
温泉ボーリングデータ集, 220p., 北海道立地  
質研究所.
- 松波武雄, 和気 徹, 早川福利, 二間瀬 洌, 横山英二,  
内田 豊, 酒匂純俊, 斎藤尚志 (1979) 北海  
道の地熱・温泉 (C) 北海道中央部, 地下資源  
調査所調査研究報告, 7, 192p., 2sheets, 北  
海道立地下資源調査所.
- 西田泰典, 橋本武志 (2007) 北海道における地殻,  
上部マントルの熱的構造: 総合報告. 北海道大  
学地球物理学研究報告, 70, 1-12.
- 尾崎次男, 岸 和男, 狛 武, 横田節也 (1965) 豊  
平川扇状地および発寒川扇状地の地下水—主と  
して地下水の供給量について—. 地質調査所月  
報, 16 (1), 1-24.
- 島野安雄, 谷口真人, 榎根 勇 (1989) 阿蘇西麓台  
地における地下水温の分布特性について, ハド  
ロロジー (日本水文科学会誌), 第 19 巻, 第 3 号,  
155-169.
- 谷口真人 (1987) 長岡平野における地下水温の形成  
機構. 地理学評論, 60 (11), 725-738.
- 谷口真人, 島野安雄, 榎根 勇 (1989) 地下水温を  
用いた阿蘇西麓台地の地下水流動解析, ハイド  
ロロジー (日本水文科学会誌), 第 19 巻, 第 3 号,  
171-179.
- Taniguchi M., Shimada J. and Uemura T. (2003)  
Transient effects of surface temperature and  
groundwater flow on subsurface temperature  
in Kumamoto Plain, Japan, *Physics and  
Chemistry of the Earth*, 28, pp.477-486.
- 徳永貴大 (熊本大)・嶋田 純 (同)・内田洋平 (産総  
研)・吉岡真弓 (同)・利部 慎 (熊本大), 水質,  
安定同位体, 地下水温から見た熊本地域の広域  
地下水流動特性, 日本水文科学会学術大会発表  
要旨, p.127-130, 2010.
- 内田洋平 (1999) 地下水流動と地下温度分布の関係.  
地下水技術, 41 (8), 114-123.
- 山口久之助 (1970) 石狩湾岸低地の地下構造と地下水.  
地下資源調査所報告, 41, 1-33.
- 山口久之助, 早川福利, 小原常弘, 二間瀬 洌, 佐  
藤 巖, 横山英二, 国府谷盛明, 鈴木 守, 松  
下勝秀 (1963) 水理地質図「苫小牧・室蘭」  
1:100,000 及び説明書. 北海道水理地質図,  
No.13, 51p., 北海道立地下資源調査所.
- 山口久之助, 佐藤 巖, 小山内熙, 二間瀬 洌, 小原  
常弘, 松下勝秀, 国府谷盛明, 早川福利, 横山  
英二 (1964) 水理地質図「札幌」1:100,000  
及び説明書, 北海道水理地質図, No.8,  
110p., 北海道立地下資源調査所.