

# 黄河河口域の地下温度プロファイル

内田 洋平<sup>1)</sup>・田口 雄作<sup>2)</sup>

## 1. はじめに

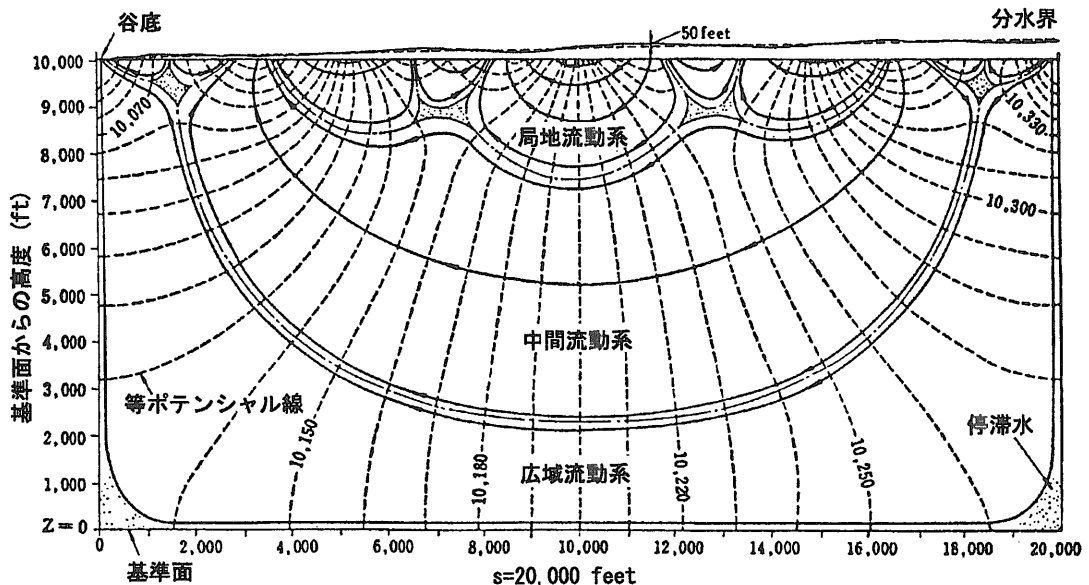
近年の機器技術の向上により, 地下温度の測定は, 精度が高くかつ容易に行われるようになってきた。地下温度分布の形成には, 熱の伝導だけではなく, 地下水の流動に伴う熱の輸送現象が大きな役割を持っている。

筆者らは, 1999年9月20~24日の日程で, 中国山東省で開催されたCCOP (Coordinating Committee for Coastal and Offshore Geoscience Programmes in East and Southeast Asia)と山東省地質鉱産庁が主催した地下水環境問題に関する国際シンポジウム('99 Shandong International Symposium on Environmental Groundwater Issues)およびDCGM Phase III Projectの現地研修(The

2nd On-Site Training of DCGM Phase III Project, 以下現地研修と称す)に参加する機会を得た。筆者らは現地研修の一環として, DCGM Phase III Projectに係る中国人2名, 韓国人1名, フィリピン人1名のカウンターパートに加え, 山東省のオブザーバー数名で構成する研修生に対し, 黄河河口域に位置する山東省東營市の観測井において, 地下温度プロファイルの計測を試みた。その結果, きわめて興味深い地下温度プロファイルが得られたので紹介する。

## 2. 地下水流動と地下の温度分布

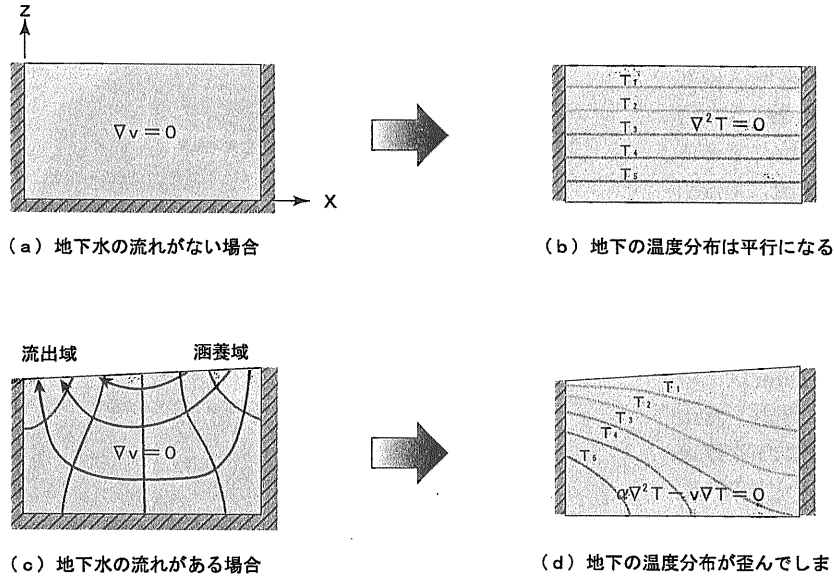
地下温度分布の形成には, 熱の伝導だけではなく, 地下水の流動に伴う熱の移流が大きな役割を



第1図 地下水流動の模式図 (Toth, 1963).

1) 地質調査所 環境地質部  
2) 地質調査所 環境地質部 (現CCOP事務局派遣)

キーワード: 黄河河口域, 地下水流動, 地下温度プロファイル, 熱輸送



(a) 地下水の流れがない場合

(b) 地下の温度分布は平行になる

(c) 地下水の流れがある場合

(d) 地下の温度分布が歪んでしまう

第2図 地下水流動と地下温度分布の関係 (Domenico and Palciauskas, 1973).

持っている。

Toth (1963)は、地質を等方均質と仮定して、地下水面を上部境界、不透水基盤を下部境界、分水界と谷底を仮想の不透水境界とした断面二次元領域のなかで、流動を支配するラプラスの方程式を解くことから、流域規模の地下水流動系の概念を提示した。彼は、流域規模の地下水流動系には、規模の小さなものから、局地流動系・中間流動系・

広域流動系の3種類が存在することを示した(第1図)。また、Domenico and Palciauskas (1973)は、地下水と熱の流れに関するStallman (1963)の熱輸送の式を適用して、地下の温度分布を求める近似解を得るとともに、地下水フラックスの効果を検討した。それによると、地下水の流れが存在しない場合の温度分布は、熱伝導のみに支配され一様な温度勾配をもつため、同一深度では温度が等しい。

一方、地下水流動が生じる場合は、地下水の涵養域と流出域において、地下温度分布に熱伝導のみで形成された温度から「ずれ」が生じる。地下水の循環速度が速くなるほど、その「ずれ」は大きくなり、地下水涵養域では下に凸、流出域では上に凸の温度分布が生じる。したがって、同一深度の地下温度は涵養域でより低温、流出域でより高温となる(第2図)。内田・佐倉(1999)は、この概念に基づき濃尾平野における地下温度プロフィールの分布特性を明らかにしている。

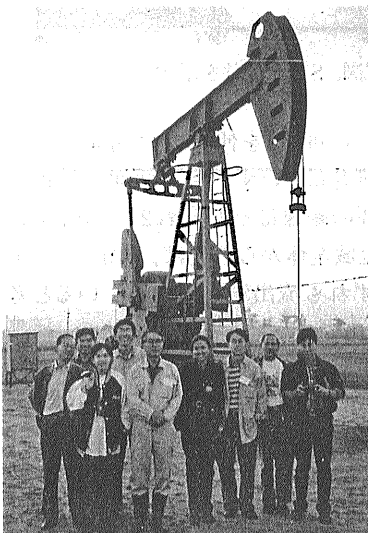


写真1 山東省の油田。



写真2 温度測定風景。

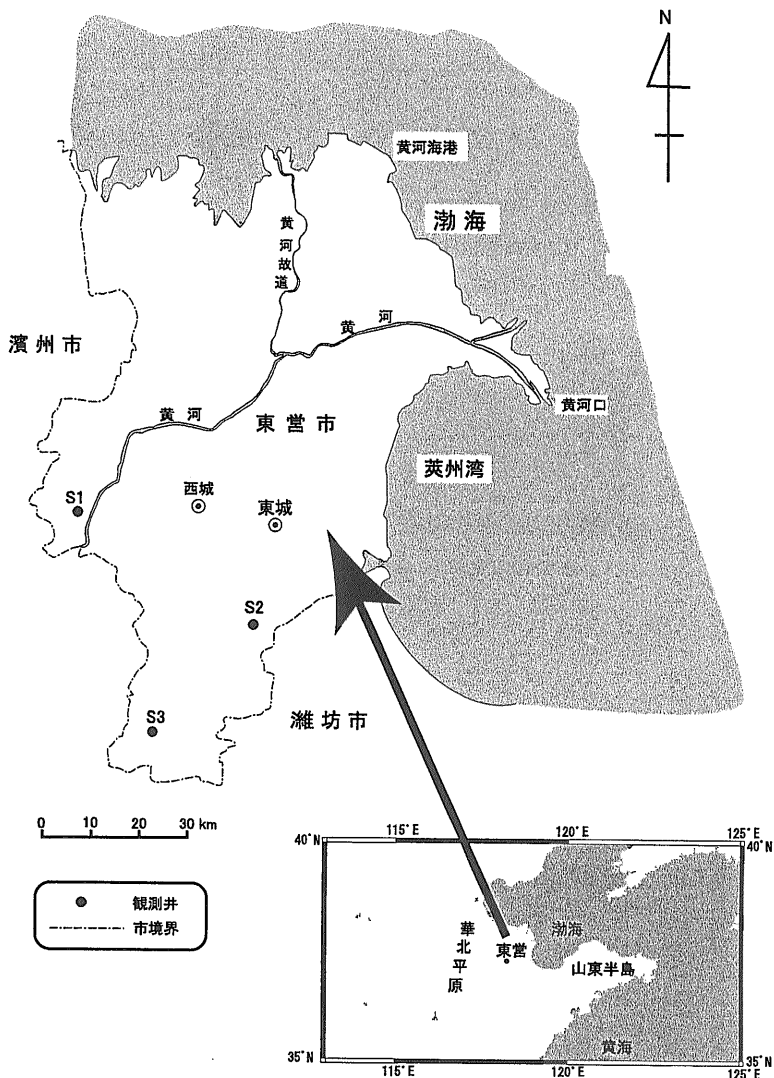
### 3. 山東省の概要

山東省は中国華東地区の北部に位置し、面積約15.7万km<sup>2</sup>、人口8,700万人である(第3図)。黄河の下流にある山東半島は黄海と渤海に突きだしており、中部は山地、西南と西北は平野、東部は山地・丘陵が横たわり、平野や盆地が混在する。海拔1,000m以上の山は泰山、蒙山、魯山、沂山などである。西北部の平野地帯を東北に流れていく黄河は、その川底が一部の地方では地面より10数mも高く、「地上河(天井川)」となっている。その黄河は毎年16億トンもの土砂を運び、そのうち12億トンの土砂を河口周辺にのこし、黄河デルタを年間2~3kmの速度で海の方へ伸ばしている。これは毎年約50km<sup>2</sup>の土地を増やしつつけている計算になる。年間平均降水量は500~1,000mmと多く、季節によって降水量に大きな差があり、干ばつと水害が多い(莫 邦富, 1996)。

1960年代に開発・生産を始めた石油・天然ガス産業は急速な成長をとげ、山東省の主要産業となった。渤海に近い黄河デルタにある勝利油田は、黒龍江省の大慶油田につぐ中国最大級の油田である(写真1)。

### 4. 東営市の地下温度プロフィール

筆者らは、1999年9月23・24日の両日、山東省東営市内の3ヶ所の地下水位観測井を用いて、地下水位および地下水温プロフィールの測定を実施した(写真2)。地下水温の計測は、観測井内においてデジタル・サーミスタ温度計(分解能0.01℃、



第3図 山東省東営市の位置図。Sは観測井を示す。

深度300mまで測定可能)を使用し、2m毎に行った。測定した観測井は、いずれも黄河河口付近に位置し、観測井間の距離はそれぞれ20~40km程度である。黄河流域全体から言えば、測定した3本の観測井は、いずれも流出域に位置していると考えられるが、温度プロフィールは3井とも明らかに異なっていた。

第4図に、東営市の3本の観測井で測定した温度プロフィールを示す。深度100mの地下温度はそれぞれ、S1が15.92℃、S2が24.4℃、S3が16.93℃であり、このうちS2の地下温度がもっとも高い。各プロフィールの最低温度・最高温度、および温度勾配

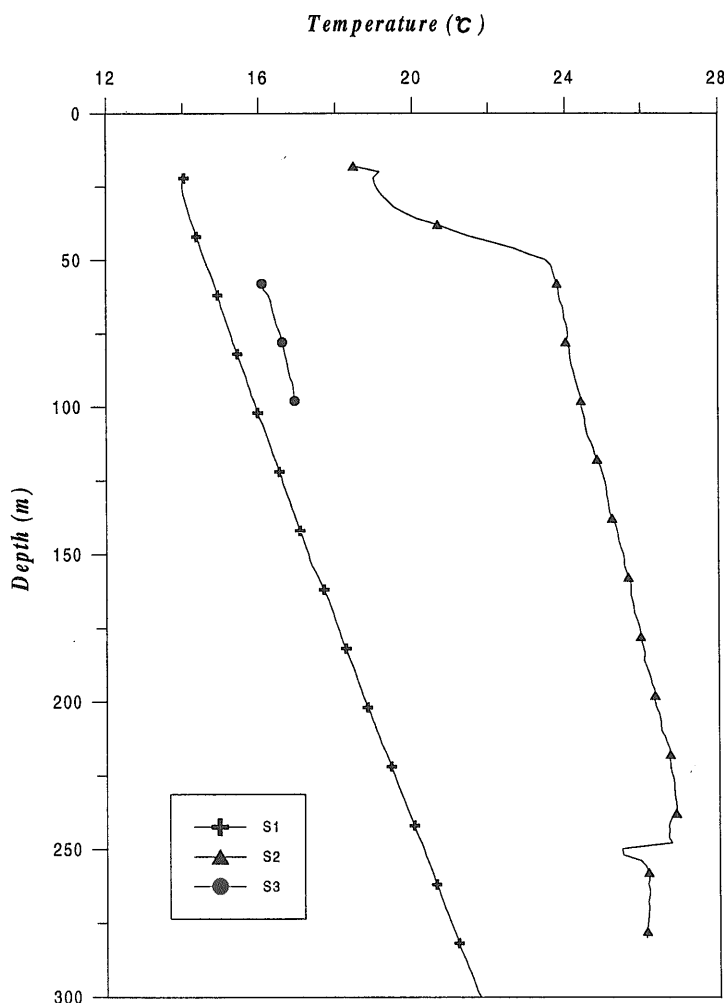
第1表 各観測井で測定されたデータ.

観測井	最低温度 (°C)	最高温度 (°C)	温度勾配 ( $\times 10^{-2}$ °C/m)
S1	14.03	24.93	3.92
S2	18.47	26.11	2.92
S3	16.07	16.94	2.05

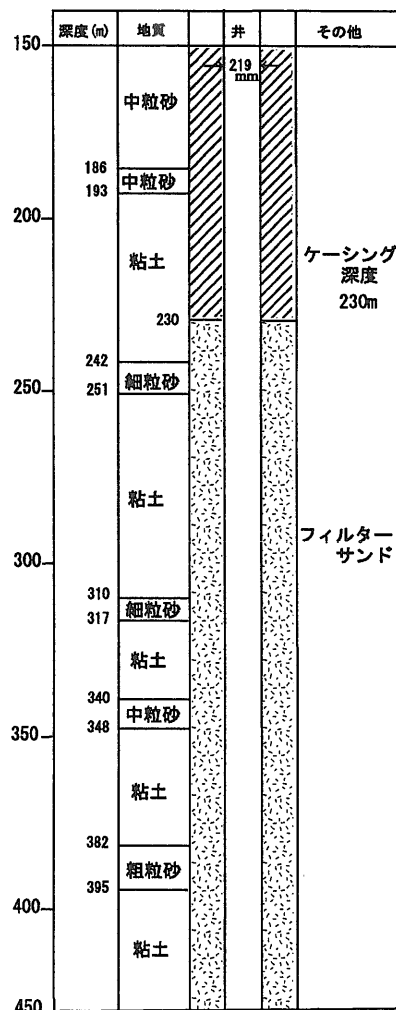
を第1表に示す. 各井における温度プロフィールの温度範囲は, S1が14.03°Cから24.93°Cともっとも小さい. これに対し, S2のそれは18.47°Cから26.11°Cと3井の中でもっとも高い. S3は, 深度100m付近で計測を中止したために十分な温度情報がない. しかし, 温度範囲はS1とS2の間と考えられる. S1とS3は海岸から60km前後の距離に位置するのに対し, S2のそれは約25kmである. 一般に海岸部は, 広域地下水流動系の流出域である

ため, 地下の温度は海岸に近づくにつれて高くなる. 海岸からもっとも近いS2の温度が高いのは, 黄河流域の地下水流動の流出域に相当しているためと考えられる.

S1とS3において, 温度は深度を増すとともに単調に増加している. これに対し, S2では, 温度勾配は深度52mまで非常に大きく( $15.18 \times 10^{-2}$  °C/m), 深度52mから深度230mまではほぼ一定の割合である( $1.81 \times 10^{-2}$  °C/m). 深度230m以下では, 温



第4図 各観測井の温度プロフィール.



第5図 観測井S2の柱状図.

度が低下に転じている。とくに、深度248mからの温度低下は急激で、深度250mの温度は25.46℃であった。本井における温度プロファイル上部の温度勾配が非常に高い原因は不明であるが、プロファイル下部の急激な温度低下は井戸の構造によるものと考えられる。第5図に観測井S2の柱状図を示す。地表から深度150mまでの地質は記載されていないため不明である。観測井S2は、深度230mまでコンクリートでケーシングされており、230m以深はフィルターサンドとなっている。深度248m前後の地質は細粒砂で、上下の粘土層と比較して透水性がよい。この付近の深度で温度が急激に低下するのは、卓越した地下水の流れが存在するのが原因ではないかと考えられる。

## 5. おわりに

本稿では、地下水流動と地下温度分布の関係の一般的な概念を説明するとともに、黄河河口域で観測された地下温度プロファイルを紹介し、大流域河口部の地下水流動についての仮説を提示した。

地下水流動と地下温度分布に関する研究は、最近では多く実施されてきているが、調査地域特有の地形・地質条件に基づく地下水の流れは複雑である上、都市化に伴う地形改変や地下水の揚水などが地下温度分布に影響を及ぼしていることが予想され、地下の温度分布を合理的に説明すること

は、かならずしも易しいことではない。地下の温度構造をより定量的に解明するためには、我が国はもちろんのこと、広大な平野の存在する海外の大河川流域でも地下温度分布測定を数多く実施し、データの蓄積を図る必要があると考える。多額の費用をかけて作られた観測井は、単に地下水位の観測のためばかりではなく、地下温度測定にも大いに活用し、広域的な地下水流動に関する多くの有用な情報を得たいと考えている。地下水流動と地下の温度構造との関係を明らかにすることによって、地下の温度は地下水の流れを把握するための有効なトレーサーとなるのである。

本調査に関し、CCOP、中国国土资源部地質調査局、山東省地質鉱産庁および東営市地質鉱産局には多大のご協力を得たことを記し、謝意を表す。

## 文 献

- 莫 邦富 (1996) : 中国ハンドブック。三省堂、東京、254p.  
 Domenico, P. A. and Palciauskas, V. V. (1973) : Theoretical analysis of forced convective heat transfer in regional groundwater flow. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 84, p.3,803-3,814.  
 Stallman, R. W. (1963) : Computation of ground-water velocity from temperature data, USGS Water Supply Paper, 1544-H, p.36-46.  
 Toth, J. (1963) : A theoretical analysis of groundwater flow in small drainage basins. *Jour. Geophys. Research*, 68, p.4,795-4,812.  
 内田洋平・佐倉保夫 (1999) : 濃尾平野における地下温度プロファイル。地質調査所月報, 50, p.635-659.

UCHIDA Youhei and TAGUCHI Yusaku (2000) : Subsurface temperature profiles in the Yellow River Estuary.

< 受付 : 2000年1月26日 >