

# 濃尾平野の地質構造と温度勾配

大谷 具幸<sup>1)</sup>・内田 洋平<sup>2)</sup>

## 1. はじめに

地中熱利用は、海外の一部の国々では近年著しい勢いで普及が進んでいるものの、日本ではいまだに本格的な普及段階には到達していません。この原因のひとつとして、初期経費が高いことが挙げられています。初期経費の中でも高額な掘削費が大きな問題であり、1mあたりの掘削単価は普及が進んでいる国々と比較すると数倍の格差があると言われています。よって日本において地中熱利用を促進するためには、掘削費の低減が有効な方策のひとつと考えられます。掘削費を低減するためには、掘削単価を下げるのができればよいのですが、掘削単価は技術的な問題のみで決定されるのではなく、市場規模などにも左右されますので、我が国における掘削単価そのものを下げることは容易ではありません。そこで掘削単価を下げなくても、掘削費を下げる手段を考える必要があります。そのための方法としては、掘削した孔井に設置する地中熱交換器の熱交換効率を向上させることと、孔井の長さが短くても十分に熱交換を行うことができる地層や岩石を有する地域を探し、そのような地域から導入を進めていく方法が考えられます。前者の場合は、地中熱交換器の熱交換効率が向上することにより、結果的に地中熱交換器の長さ、すなわち孔井の長さを短くすることができます。後者の場合、地層の熱伝導率が高い地域では、短い地中熱交換器でも地層との熱交換を十分に行うことが可能となります。地中熱利用は自然エネルギー利用の一種であり、地下からの抽熱や地下への廃熱を行います。よってその条件は場所により異なります。それは、例えば強い風が吹かない地域に風車を建設しても、効率的な風力発電を行えないことと同じです。したがっ

て地中熱利用を行う際に必要とされる地中熱交換器の長さは、地下の条件により変化します。地下の熱的特性の分布があらかじめわかっているならば、より経済的に地中熱利用が可能な地域を直接知ることができるのですが、残念ながらこのような情報は現在日本にはあまりありません。そこで、地中熱利用の適地選定を考えるために、地下の熱的特性の広域的な分布について、まずは間接的に理解する方法を考える必要があります。

## 2. 地層の熱的特性と地質・地下水

地中熱利用を行うときには、基本的には熱エネルギーを利用する施設の直下あるいはごく近くの地下で抽熱・廃熱をします。よって住宅の冷暖房を行う場合には、たとえ人里離れた山奥に地中熱利用を行うのに有利な地層や岩石があったとしても、それを利用することはできません。日本では人口の多くは平野部に集中し、その平野部の地下は主に第四紀層により構成されています。一般に地中熱利用において設置される地中熱交換器の長さは日本では100m以下であることが多いので、平野部の深度100m以浅に主として分布する第四紀層を検討対象とすればよいこととなります。

第四紀層を構成する未固結堆積物は、含水率により熱伝導率が異なるものの、基本的には石灰石や花崗岩などの岩石よりも熱伝導率が低い傾向にあります(第1表)。よって未固結堆積物が厚く分布する日本の平野部では、地層の熱伝導率が一般には低くなります。一方で、日本の平野部は過去に地盤沈下の問題が生じるまでは地下水がよく利用されてきたことからわかるように、豊富な地下水を有しています。こ

1) 岐阜大学 工学部  
〒501-1193 岐阜市柳戸1-1  
2) 産総研 地圏資源環境研究部門

キーワード: 地中熱利用, 地質構造, 温度勾配

第1表 堆積物・岩石の熱伝導率 (Clark, 1966).

土壌 (Muck soil)	(水分量4%)	$0.15 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
	(水分量67%)	$0.51 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
水	(0°C)	$0.56 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
砂 (Hudson River sand)	(水分量0.2%)	$0.27 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
	(水分量30%)	$1.65 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
石灰岩 (Toronto, Canada)		$2.57 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
花崗岩 (Loetschberg Tunnel, Switzerland)		$3.25 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
珪岩 (Homestake Mine)		$6.72 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

れまでの研究により、地中に設置した地中熱交換器により地層と熱のやりとりを行う地中熱交換型では、地下水流動が採熱に影響を及ぼすのは流速が $\geq 10^{-5}$  m/sの場合であることが知られています(新堀ほか, 2002)。このような速い地下水流速は、透水性の良い礫層で実現される可能性があるものの、どの礫層で速い地下水流速が存在しているのか検討する必要があります。そこで地質構造と地下温度勾配プロファイルの関係から、礫層における地下水流動について検討する試みを行いました。なお、調査対象としては、これまでの地下水流動に関する研究の蓄積がある濃尾平野を選びました。

### 3. 濃尾平野の地質分布の概略

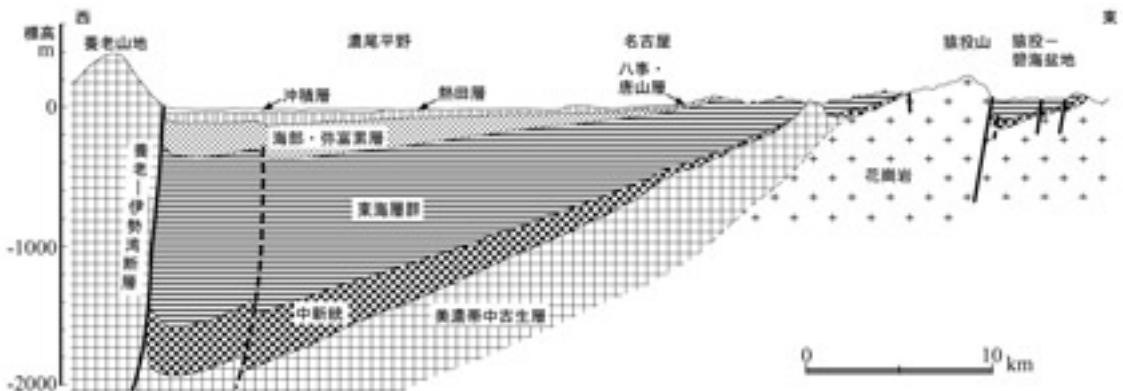
濃尾平野の堆積層は西に傾斜し、養老-伊勢湾断層を西縁として基盤岩である美濃帯の中古生層に接します(第1図; 山下・糸野・糸魚川, 1988)。これは地層の堆積の過程において、養老-伊勢湾断層の活

動により基盤の傾動が生じていたことを示しており、傾動地塊と呼ばれています。濃尾平野の地下では、基盤岩を不整合に中新統、主に鮮新世に堆積した東海層群が覆い、その上に第四紀層が分布しています。第四紀層には、地下水利用の対象である、第一礫層、第二礫層、第三礫層が存在することが知られています。

### 4. 濃尾平野の地質構造と温度勾配プロファイル

濃尾平野の地下温度については、これまでに内田・佐倉(1999)などによって詳しく調べられています。詳細については、本誌の内田ほか(2005)をご覧ください。ここでは地盤沈下観測井において測定された温度データに基づいて、深度方向への1mあたりの温度変化である温度勾配と地質構造との関連性について検討を行います。

温度プロファイルに基づく流体流動の検討は、これまでも地下水研究の分野で行われてきています。



第1図 濃尾平野の地質断面図(桑原, 1968を一部改変)。

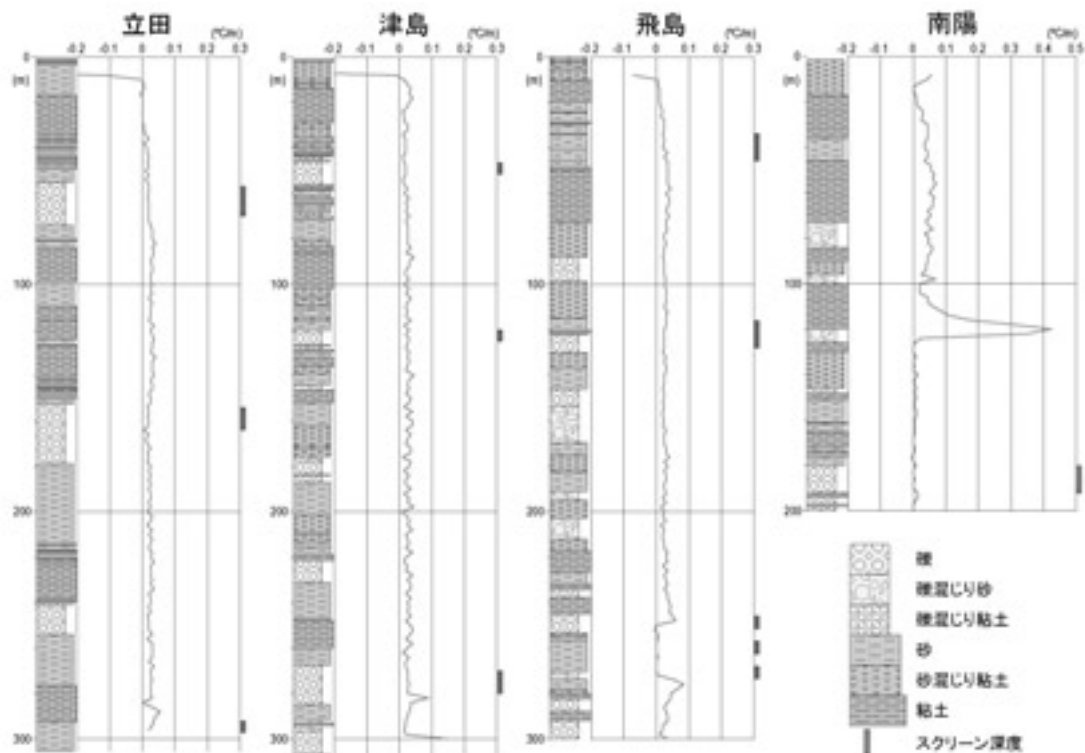
流体の流動がなければ、地下の温度分布は地下深部からの熱伝導のみに支配され、温度プロファイルは直線状、すなわち一定の温度勾配を示します。一方、地下で流体の上昇流や下降流があれば、温度プロファイルは流体による熱輸送の影響を受けます。つまり地下浅部では、上昇流のときは地下からの流体が供給されるため高い温度勾配に、下降流のときには地表水が地下深部まで浸透するため低い温度勾配となります。また、帯水層や割れ目で周囲と異なる温度の流体が流動している場合には、温度および温度勾配のプロファイルには特異な箇所があらわれます。特に未固結堆積物の場合には、動水勾配が同じであれば透水性の高い地層で地下水流速が大きくなり、特異な箇所として現れる可能性があります。このような観点から、濃尾平野の温度データと地質構造について検討を行いました。

第2図に、濃尾平野における代表的な温度勾配プロファイルを示します。いずれの温度勾配プロファイルも深度約10mまでは負の値かやや大きな正の値を示します。これは、地下浅部の温度は地表の季節的

な気温変化の影響を受けるためです。これ以深では、礫層の分布深度において温度勾配の特異な箇所が見られることがあります。例えば立田観測井では、80m以深では温度勾配がほぼ0.03°C/mを示し、礫層が分布する深度150～180mでは温度勾配が0.01～0.02°C/mと他の深度よりも若干低い傾向にあります。これは、この深度の礫層において周囲の地下温度と異なる温度の地下水が流動している可能性を示しています。また飛鳥観測井では、深度70m以深では温度勾配はほぼ一定の値を示しますが、深度250～270mにおいて温度勾配がほぼ0°C/mになっています。この深度における地層は礫層と砂層から構成されており、ここでは礫層のみならず砂層も流体の通路となっているものと思われます。

南陽観測井では深度120m付近の礫層の付近で温度勾配が著しく増大し、それ以深では温度勾配はほぼ0となっています。これは礫層に沿って周囲より温度の高い流体が流動し、より浅部の地温に影響を与えていると考えられます。

一方で、立田観測井の深度240～250mでは礫層が



第2図 濃尾平野における代表的な温度勾配プロファイル。

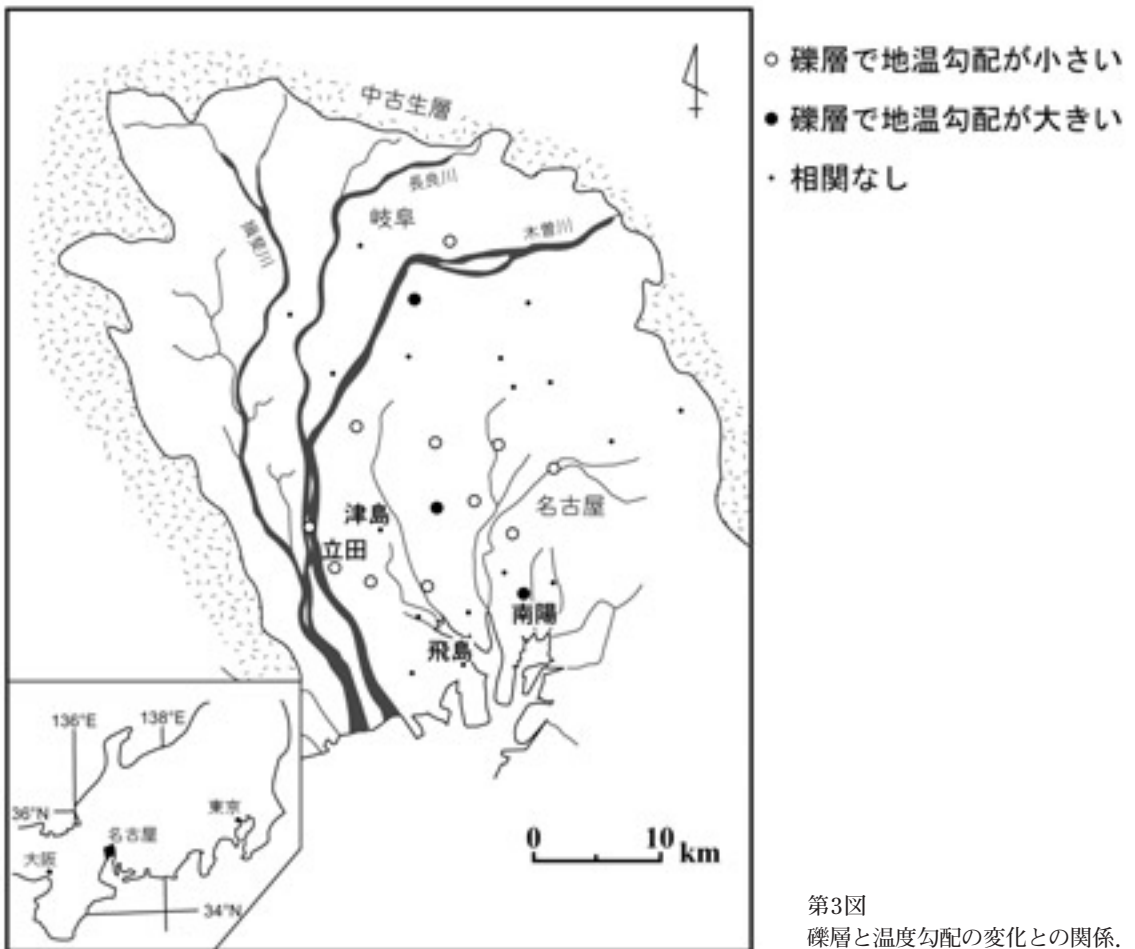
分布するものの、その深度における温度勾配は他の深度と同じです。また津島観測井では、層準によらず温度勾配はほぼ一定です。これは礫層があっても、そこにおける地下水流動が顕著でないか、あるいは礫層を流動する地下水の温度が周囲の地層温度と平衡に達しているからと考えられます。

礫層において温度勾配の変化が見られる場合は、大半において、礫層で減少を示します。この傾向が見られる地点を地図上に示すと第3図のようになり、海岸付近をのぞく平野の南部に集中しています。これは、平野内の大部分の温度場が緩慢な地下水流動により形成される中で、これらの場所では、地表から浸透し十分に加熱されていない地下水が比較的速い流速で供給され、結果的に温度勾配が周囲より小さくなっているためと考えられます。また平野の南部では北部に比べると地下温度が高い(内田・佐倉、

1999; 地質調査総合センター, 2005) ために、より低温の地下水が礫層に沿って流動する場合に異常として捉えられるのでしょう。仮に平野の北部において礫層に沿って地下水が流動しているとしても、全体に温度が低く、周囲の地層温度と礫層を流動する地下水温度に大きな相違がなければ、異常としては捉えられないわけです。また一般的に、全体に占める礫層の割合が高い場合には、礫層における地下水の流動が温度勾配からは確認できないと考えられます。

一方で、礫層が分布する深度において、温度勾配が周囲よりも大きくなる例もあります。考えられる原因としては、地下深部から上昇した地下水が浅部に供給されることにより、周囲よりも温度が高くなる可能性が挙げられます。

なお、平野の南部でも海岸付近に分布する孔井では礫層における温度勾配の変化は認められません。



この地域は地下水の流出域なので、涵養域のように地表から浸透したばかりの温度の低い地下水が礫層を流動することはなく、地下に滞留して充分加熱された地下水が礫層中を流れるため、地下水温度が地層温度とほぼ平衡に達していると考えられます。

## 5. おわりに

今回、濃尾平野において地盤沈下観測井における温度測定結果に基づいて、地質と温度勾配との関係を調べたところ、海岸付近をのぞく平野南部の大半において、礫層分布深度で温度勾配の低下が認められました。よって、概して平野の中流域においては、礫層分布から周囲より低温の地下水の流動が捉えられることがわかりました。ただし地下水流動が認められる場合においても、その流速が抽熱に影響を及ぼすほどに十分大きいのか、さらに検討を進める必要があります。また、地下水流動が $6.3 \times 10^{-7} \text{m/s}$ 以下であれば地下への蓄熱が可能となる(新エネルギー・産業技術総合開発機構, 2000)ので、具体的な流速に関する見積り方法について今後検討を進めていくことにより、地中熱利用を行う上で経済性に優れた地域について検討していく予定です。

**謝辞：**産業技術総合研究所の安川香澄博士・天満則夫博士には、本誌に発表の機会を与えていただくとともに、有益な助言をいただきました。また、匿名の査読者には有益なご指摘をいただきました。ここに記して感謝の意を表します。

## 参 考 文 献

- 地質調査総合センター(2005)：水文環境図No.4「濃尾平野」, 地質調査総合センター。
- Clark, S. P. Jr. (1966) : Thermal conductivity. In: Clark, S. P. Jr. (Eds.), Handbook of physical constants. Geological Society of America, Memoir, 97.
- 桑原 徹(1968)：濃尾盆地と傾動地塊運動. 第四紀研究, 7, 235-247.
- 新堀雄一・岩田宜己・森不可止・深谷法三郎(2002)：大地結合ヒートポンプシステムにおける熱交換井の評価－熱交換井内の地下水自然対流の影響－. 日本地熱学会誌, 24, 191-205.
- 新エネルギー・産業技術総合開発機構(2000)：平成11年度委託業務成果報告書「地中地盤蓄熱システム技術先導研究開発」, 411p.
- 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, 635-659.
- 内田洋平・安川香澄・天満則夫・大谷具幸(2005)：地下温度分布の偏在性. 地質ニュース, no. 611, p. 21-29.
- 山下 昇・粕野義夫・糸魚川淳二 編(1988)：日本の地質5 中部地方2. 共立出版, 332p.

OHTANI Tomoyuki and UCHIDA Youhei (2005) : Geological structure and temperature gradient in the Nobi Plain, central Japan.

<受付：2005年4月18日>