

# 大阪平野における地下温暖化履歴の推定

○濱元栄起<sup>1</sup>・有本弘孝<sup>2</sup>・谷口真人<sup>3</sup>・岸本安弘<sup>4</sup>・中戸靖子<sup>5</sup>・小林晃<sup>6</sup>

<sup>1</sup>埼玉県環境科学国際センター・<sup>2</sup>(株)地域地盤環境研究所・<sup>3</sup>総合地球環境学研究所・

<sup>4</sup>国土交通省近畿地方整備局企画部・<sup>5</sup>大阪府環境農林水産部・<sup>6</sup>関西大学環境都市工学部

## 1. はじめに

地下水や地球科学における研究や地熱資源の開発など様々な目的で、国内外で、地下温度測定（温度検層）が行われてきた。国内では、このような地下温度測定が明治期から行われ、例えば東京大学本郷キャンパス内にある弥生地下水観測井（掘削年 1898 年、掘削深度 380m）で 1903 年に測定された事例を挙げることができる<sup>1)2)</sup>。

地下の温度鉛直分布は、孔内における水の対流等がなければ周辺の地層と熱平衡状態になっている。このような場合、地下温度は①地下深部を起源とする地殻熱流量、②地表面温度、③地下水流動による熱の移流、④周辺からの熱の伝搬、そして⑤地下の熱物性、などによって決まる。このうち③地下水流動による熱の移流や④周辺からの熱の輸送がなければ、地下の熱輸送は、深さ方向の 1 次元の熱伝導問題として考えることができる。一般に地中の熱拡散率は小さいため、地表面温度変動による影響はゆっくりと地下へ伝搬することになる。言い換えると、現在の地下温度分布は、過去から現在までの地表面温度変動の影響を受けていることになる。このような性質を利用し、現在の地下温度分布を計測し、「逆解析」等の手法を用いて注意深く解析することで、過去から現在までの地表面温度変動の履歴に関する情報を引き出すことができる。例えば、深さ 300m の井戸の地下温度分布データから過去約 300 年間の地表面温度履歴を推定することができる（推定可能な長さは、その場所の熱物性や計測精度等に依存する）。ただし、この方法によって推定される温度は、「地表面温度」であり、「気温」ではないことに注意しなければならないが、これまでの研究により、地表面温度と地表面付近の気温は密接に関連していることが示されている<sup>3)</sup>。

地表面温度の長期的な情報は、地球温暖化評価の基礎情報としても用いられている。過去の地表面付近の温度変動を知る方法として、最も確実なのは気象観測地点等で測定される気温の長期記録であるが、継続して長期間の測定が行われている地点は限られており、観測期間もせいぜい 150 年間程度である（例えば、日本国内の場合、東京都心の気象庁で 143 年間、大阪管区气象台で 134 年間）。このため気象記録が残されている以前の温度変動の履歴を知るためには、他の指標から推定することになる。長期間の温度履歴を推定する手法としては、本研究で述べる地下温度分布を用いる方法のほか、土壌中の同位体や木の年輪、氷床のコア試料、サンゴの化石を用いたものなどがある。本稿で述べる地下温度分布を用いた方法は、温度を直接の指標として地表面温度を推定する点が大きな特徴である。さらに既存の観測井や新規に掘削した観測井で地下温度計測を行うことで、多くの地点で同様の解析ができ、長期的な気象記録が残されていない地域の地表面温度履歴の推定ができる。

本稿は、「地下水地盤環境に関する研究協議会」に設置された地中熱研究委員会の研究成果の一部として、第一に大阪平野の地下温度データに逆解析を適用し、地表面温度変動の履歴を推定する。第二に、この結果と都市の形成との関連について議論するものである。

## 2. 大阪平野周辺地域における地表面温度履歴の研究

地下温度分布を逆解析することで地表面温度履歴を推定した研究は欧米を中心に 1980 年代以降行われてきた。これまでの研究から多くの地点で過去 100-200 年間の地表面温度は上昇傾向にあることが明らかにされている<sup>4)</sup>。アジア地域でも同様の手法を用いた推定が 2000 年代から行われ、過去 100 年から 200 年間で地表面温度が大きく上昇していることがわかってきた<sup>5)6)7)8)9)</sup>。このうち本研究で対象としている大阪平野周辺でも琵琶湖湖岸や淡路島の観測井で地下温度分布を測定し、解析した事例がある。琵琶湖湖岸の事例では、深さ 904m の孔内の温度計測を行い過去 3000 年間の地表面温度変動が推定されている<sup>7)</sup>。この解析によって 1700 年以降で地表面における温度が約 5K 上昇したとすれば、現在の地下温度がうまく説明できることが示された。ただし、この測定地点は、琵琶湖の湖岸にあることから、気候変動だけではなく湖の水位変化による影響も受けたものと推定された。淡路島における事例では、光ファイバーを用い深さ方向に 1m ごとに温度を深さ方向に高い分解能でモニタリングしている点の特徴である<sup>10)</sup>。この測定データを解析した結果、1980 年までの 100 年間に地表面温度は約 1.2K 上昇したことが推定された。この結果は、淡路島に近い神戸で測定されている最近の 100 年間の気温の長期記録とも整合的である<sup>8)</sup>。ある地域内で多地点での地下温度分布を測定し、解

### Reconstruction of subsurface warming in Osaka Plains

Hideki Hamamoto<sup>1</sup>, Hiroataka Arimoto<sup>2</sup>, Makoto Taniguchi<sup>3</sup>, Yasuhiro Kishimoto<sup>4</sup>, Yasuko Nakato<sup>5</sup>, Akira Kobayashi<sup>6</sup> ( <sup>1</sup>Center for Environmental Science in Saitama, <sup>2</sup>Geo-Research Institute, <sup>3</sup>Research Institute for Humanity and Nature, <sup>4</sup>Kinki Regional Development Bureau, Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism, <sup>5</sup>Osaka Prefectural Government, Department of Environment, Agriculture, Forestry and Fisheries, <sup>6</sup>Faculty of Environmental and Urban Engineering, Kansai University )

**KEY WORDS:** Subsurface temperature, Climate change, Land use change, Heat island, Osaka Plains

析できれば、その地域内における地下温度や地表面温度変動履歴の違いを明らかにできる。このような違いは、都市の形成過程とも関連している可能性が高い。アジア地域において、濱元ほかは、バンコク地域に位置する45地点で地下温度分布を測定し、このうち解析条件の良い6地点を選び、過去300年間の地表面温度変動を推定した<sup>9)</sup>。この結果、都心部は、周辺部や農村地帯に比べて、地表面温度の上昇幅が大きく、上昇を始める時期も早いことを明らかにした。

大阪平野でも、多地点の温度測定<sup>11)</sup>が行われており、地下温度分布の形状から最近の温度上昇は近郊よりも都市の中心部の方が大きいことが示されている。さらには、大阪都心部の気温の長期データから地下温度分布を計算し、それと実測値とを比較した結果、地下温度の実測値は気温の長期データをもとに推定した地下温度よりも高いことが示された<sup>12)</sup>。

### 3. 大阪平野への適用

#### 3.1 測定

大阪地域における地下温度測定は、平野部でこれまで複数回（1998年、2003年、2011年）実施されている。本研究では、総合地球環境学研究所の研究プロジェクト「アジアの都市における地下温暖化に関する比較研究（研究代表者：谷口真人）」によって2011年5月～6月に測定した地下温度分布の測定データ（31本）を対象として、データを精査したうえで解析に用いた（図-1）。測定結果の詳細は、有本ほか<sup>13)</sup>に示されている。測定した観測井の深度は、25～295mと場所によって異なるが、その多くが数十メートル程度と比較的浅い。

測定は孔井の構造（単管構造、二重管構造）等により、2種類の方法<sup>13)</sup>のうちのいずれかを用いた。ひとつは単管構造の孔井の場合で、水圧と温度を自記記録できるロガー（分解能0.001K）を用いて、孔内を下降させながら連続計測する方法である。もうひとつは二重管構造の孔井の場合で、ケーブル吊り下げ式のサーミスタセンサー（分解能0.01K）を用い、1m間隔でケーブルを下降させながらケーブル長と温度を記帳する測定方法である。これらの方法で得られた測定データから地下水流動の影響を反映していると思われる地下温度分布が多数あった（図-2）。本研究で行う逆解析では、地下への熱輸送が熱伝導率であることを前提にしている逆解析を用いているため、解析に適したデータを以下の基準で精査し解析を行った。

- ①地下温度データが150m以上の深さまで測定されていること。
- ②地下温度分布の形状から地下水流動の影響が小さいと思われるもの。

表-1 解析に用いた観測井の所在地

地点番号	観測井名	所在地	緯度(°)	経度(°)	解析深度(m)
14	庭窪第1-3	守口市	34.75	135.58	199
17	鴻池2	東大阪市	34.69	135.60	175
18	馬場町(Ⅱ)	大阪市中央区	34.68	135.52	152
19	港(Ⅱ)B	大阪市港区	34.66	135.45	203
24	堺2-3(堺2)	堺市	34.58	135.46	200
28	岸和田3	岸和田市	34.49	135.38	249

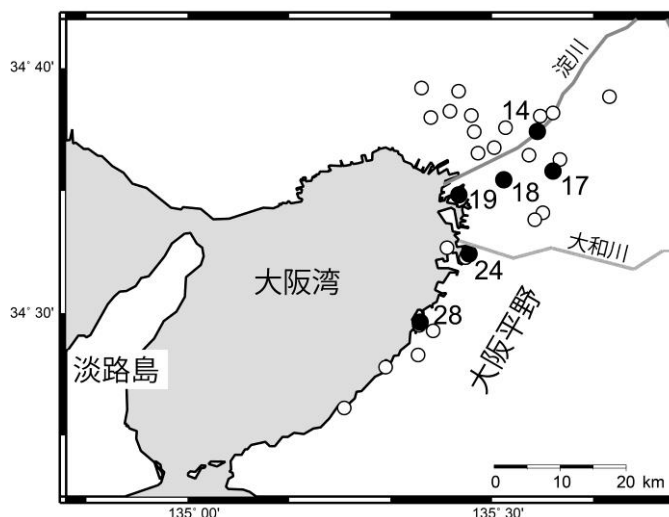


図-1 調査地点

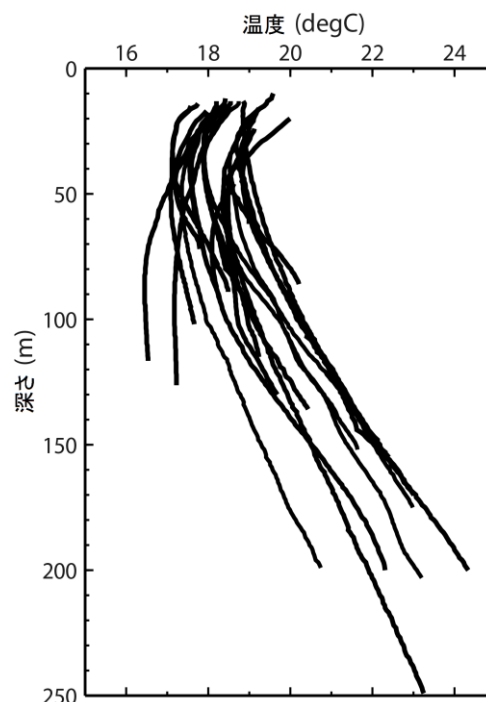


図-2 大阪平野の地下温度分布

②に関しては、流動速度が小さく水平方向であれば、本解析の精度には大きな影響を及ぼさないと推測される。しかし、地下温度分布の形状だけでは、厳密に地下水流動の影響の可否を明らかにすることは難しく、解析で得られた地表面温度変動履歴や熱物性の推定結果の中にも、誤差が含まれている可能性がある。以上の基準によって、6 地点の温度分布を選んだ（表-1、図-3）。

### 3.2 地表面温度変動の推定

6 地点の地下温度分布と地質柱状図から各地点における地表面温度変動履歴を推定した。この解析では測定データをもとに先験情報を与え未知数をベイズ逆解析によって決定する方法を採用した<sup>14)</sup>。具体的には、地表面温度変動は、1700年～2010年の期間を10年間隔で31区分し、これを階段関数の重ね合わせとして表した。この各ステップの高さが未知数となる。また地質構造は、一次元の多層構造モデルとして扱った。層数は各観測井で異なり10～33層としている。地層区分に関しては、上下の深さで地質が類似している場合には、それらを一層と見なした場合もある。そして各層の熱伝導率を未知数とした。熱伝導率の先験値は、地質柱状図情報をもとに、砂層・礫層の場合を $2.0 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 、粘土層・シルト層の場合を $1.5 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ とし、その中間（たとえば、砂混り粘土層、粘土混り砂層等）の場合は、 $1.7 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ とした。いずれの場合も、標準偏差は $1 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ として与えた。地殻熱流量は、地下温度分布データの深部の温度データから温度勾配を計算し、熱伝導率の推定値との積を先験値とし、標準偏差は $10 \text{ mW}/\text{m}^2$ とした。過去の地表面温度の平均は深部の温度データを用い、それを地表面へ延長した交点の温度を先験値とした。過去の地表面温度の平均の標準偏差は $1 \text{ K}$ とした。またデータにも、測定誤差等が含まれている可能性があるため、データの標準偏差は $0.2 \text{ K}$ とした。このような設定で逆解析し、地表面温度変動の時間的な変化の推定値をまとめてプロットしたものが図-4である

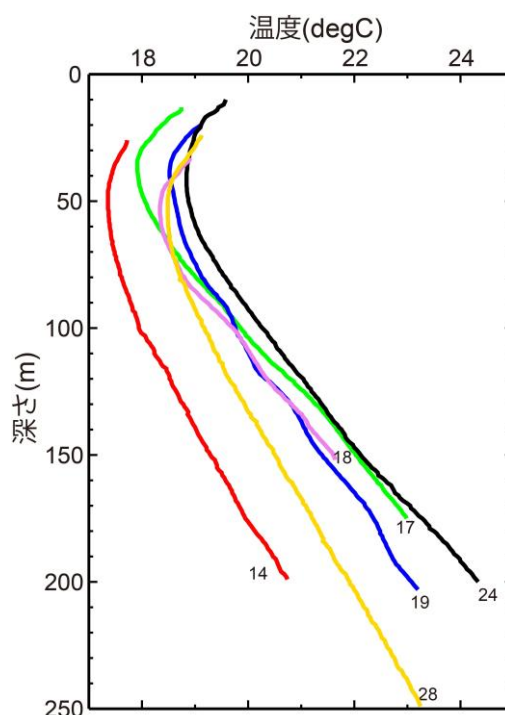


図-3 解析の用いた地下温度分布  
(地点番号は表-1を参照)

## 4. 議論

### 4.1 地表面温度履歴の解釈

全ての地点で1900年以降温度上昇しており、特に地表面温度の急激な上昇は昭和の戦後からであることが分かった（図-4）。地表面温度履歴と気温とは概ね整合的である<sup>15)</sup>。

各地点の孔井周辺の土地利用や人間活動等の状況について述べる。大阪市の都心部に位置する地点18（大阪管区气象台観測フィールドと約30m離れ）は、大阪城の南西部に位置し、明治の初頭（1874年頃）から陸軍施設が集中し人間活動が活発な地域のひとつである。また、大阪市の東西幹線道路である中央大通りや阪神高速道路とも近接する。地点14は淀川の左岸側に位置し、国道1号（江戸時代の京街道）に近接して江戸時代から交通量が多い。地点17は、太古の河内湖が最後まで残った湖沼（新開池）に近く、戦後の高度経済成長期前までは周辺に水田が広がっていたが、1960年代からの高度経済成長と共に宅地化が急速に進んだ地域である。地点19、24、28は大阪湾臨海部に位置しており、工場や港湾施設などがある。

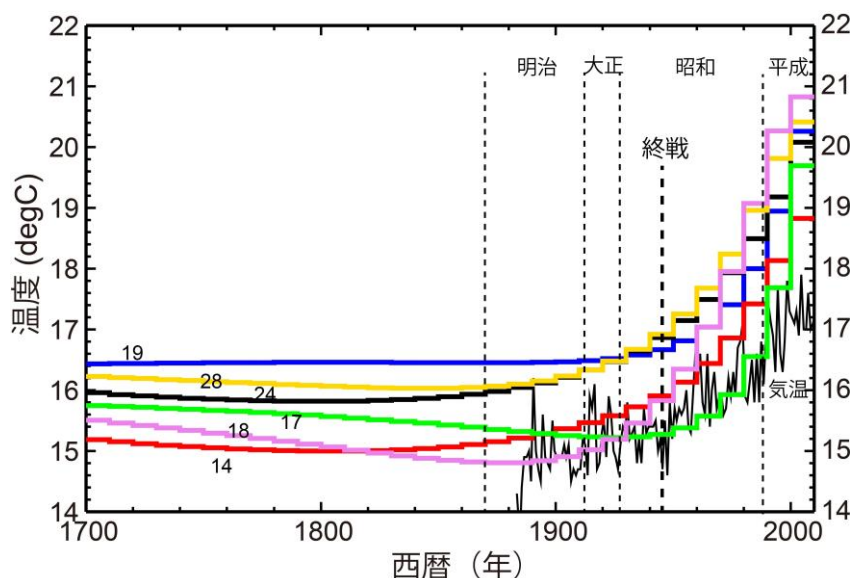


図-4 地表面温度変動履歴の推定値  
(地点番号は表-1を参照)

に位置し、国道1号（江戸時代の京街道）に近接して江戸時代から交通量が多い。地点17は、太古の河内湖が最後まで残った湖沼（新開池）に近く、戦後の高度経済成長期前までは周辺に水田が広がっていたが、1960年代からの高度経済成長と共に宅地化が急速に進んだ地域である。地点19、24、28は大阪湾臨海部に位置しており、工場や港湾施設などがある。

地点 19 は 1829 年頃に、地点 24 は 1854 年頃に大阪湾の埋め立てによってできた場所、地点 28 は海岸線に沿う道路の近くであることが特筆すべき点である。このため地下温度分布に海の影響（海水温や地下水流動）が含まれる可能性が高い。また、地点 19 は大正末まで周辺に更地が多くあったが、昭和の初頭から市街地化が急速に進んだ地域である。

次に、地表面温度が急激に上昇した 1900 年以降の温度上昇に着目すると最も上昇幅が大きかったのは、大阪都心部である地点 18 で、約 6K の上昇である。この場所は、歴史的には江戸時代の武家屋敷から明治時代の陸軍施設へ変遷した経緯があることから、都市化が比較的早くから始まったと考えられる。一方、大阪都心部の周辺や臨海部では 4K 程度の上昇幅である。このような上昇幅の違いは、都市化の影響（人工的な排熱や土地利用の違いなど）も原因として考えられる。

大阪都心部においては、気象観測が行われ、100 年間以上の長期気温記録が残されている。これと比較すると地表面温度上昇速度は気温の上昇速度に比べて大きい傾向にある。さらに各地点における、明治時代、大正～終戦、戦後～現代の 3 つの時代の上昇速度を計算すると、いずれの地点も戦後～現代の上昇速度が他の年代に比べて顕著に大きい（図-5）。次に大阪平野における 3 時代（1927 年、1967 年、2001 年）の土地利用変化を見ると 1960 年代以降、急激に都市化が進んでいることが分かる（図-6<sup>16)</sup>。

#### 4.2 地下温暖化の歴史と蓄熱量推定

過去から現在までの蓄熱量について推定する。蓄熱量は、基準年から対象とする時点までの間に地表面からの熱移流によって地中にどれだけ熱が蓄えられたかを表すものである。これは、基準年における地下温度分布と対象とする時点の温度分布で囲まれる面積と熱容量の積をとることで求められる。すなわち、蓄熱量を  $Q$  とすると

$$Q = \int_{z_0}^z \rho c \cdot [T(\xi) - T_0(\xi)] \cdot d\xi$$

で表される。ここで、 $Q$  を蓄熱量 (MJ)、 $T(\xi)$  は対象となる時の深さ  $\xi$  における温度、 $T_0(\xi)$  は基準年における深さ  $\xi$  における温度である（本研究では、地下温度上昇が顕著に表れ始めた 1900 年を基準年とした）。まず、各観測地点の地表面温度変動の推定結果を用いて、1900 年から 1990 年までに地下の温度分布を 10 年間隔で計算し、上式を用いて基準年から各対象年までの蓄熱量を計算した（図-7）。

蓄熱量は 1900 年以降の地表面温度変動の上昇に対応してほぼ増加しており、その増加率が近年増している。ただし地点 17 については、1960 年頃まで蓄熱量がわずかに低下しているが、この原因としてこの観測地点付近の地下水流動が温度分

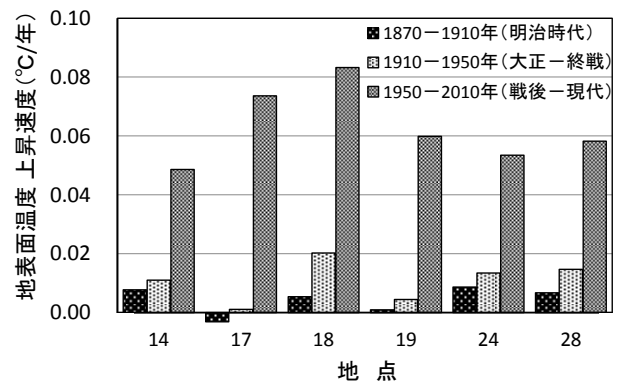


図-5 地表面温度上昇速度の比較

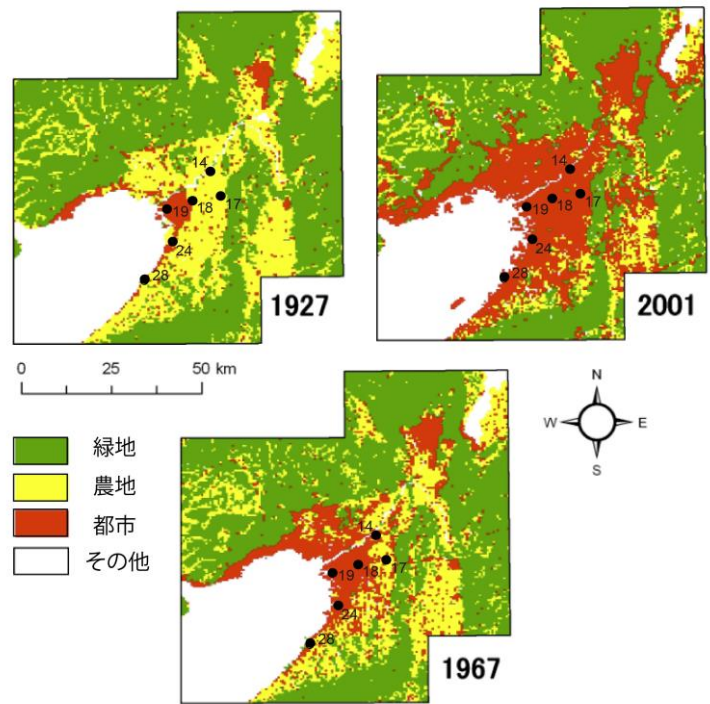


図-6 大阪平野の土地利用変化<sup>16)</sup>

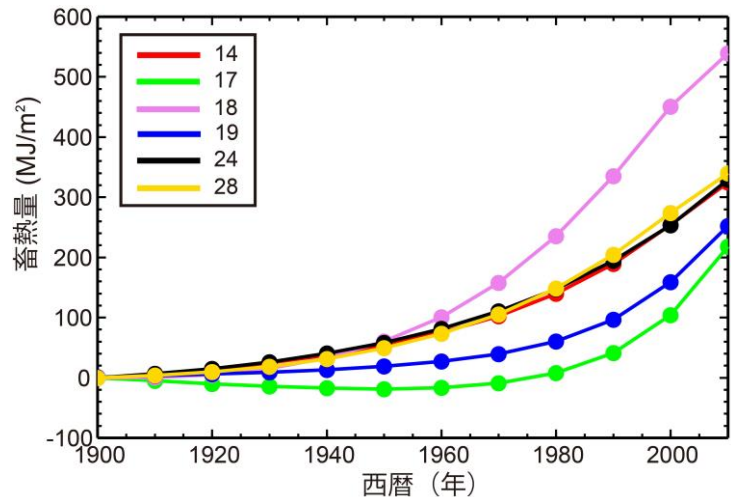


図-7 蓄熱量の経年変化  
(地点番号は表-1 を参照)



布に影響し、見かけ上の負値が表れたものと解釈している。最も蓄熱量が多かったのは大阪都心部に位置している地点 18 で約  $550\text{MJ}/\text{m}^2$  もの熱が蓄積されていることがわかった。面的な傾向として、都心部で最も高く、次に臨海部の工業地帯、そして都心部から離れた周辺地域の順になっていることがわかった。このような傾向は、地表面温度変動の傾向とも整合的であり、都市の人工廃熱の影響や土地利用の変化などによってもたらされたことが推察される。

#### 4.3 他の地点との比較

大阪平野の地表面温度履歴の推定結果と他地域との結果を比較する。大阪湾を隔てた淡路島では、地表面温度変動履歴が推定され、

1900年から1980年までの間で地表面温度は  $0.8\text{K}$  上昇したことが明らかされている<sup>8)</sup>。1980年までの上昇温度で比較すると、大阪平野で解析を行った地点のうち、都心部から離れた地点 17 と同程度に上昇率は低い。また、1900年から1980年までの蓄熱量は約  $80\text{MJ}/\text{m}^2$  で、これは大阪都心部の  $1/3$  程度である。このような結果は、大阪平野と淡路島との人間活動による影響の違いを反映したものと考えられる。

関東平野においても同様の調査や解析が進行中である。濱元ほかは、関東平野中央部に位置する埼玉県内 25 地点で地下温度分布の測定し、このうち条件の良い 2 地点で、大阪平野と同様に解析し、地表面温度履歴を推定した<sup>17) 18) 19)</sup>。この 2 地点は、東京都心から離れた近郊部に位置し、それぞれ都心から  $15\text{km}$  離れた地点（埼玉県川口市）と  $40\text{km}$  離れた地点（鴻巣市）である。両者の上昇の特徴に差があるものの 1900年から2010年の間でおよそ  $3\text{K}$  の上昇幅であることがわかった。これは大阪都心部から  $10\text{km}$  程度離れている地点 14 と同程度である。東京都心を含む地下温度調査<sup>20)</sup>も行われているが、これらのデータについては、逆解析による過去の地表面温度履歴の推定はまだ行われていない。地下温度を比較すると全体的な傾向として、近郊部に比べて、都心部のほうが地下温度は高めである。このような傾向は、大阪平野の傾向とも整合的である。

バンコク平野では、大阪平野と同様に多地点（45 地点）の地下温度調査が行われ、データを精査し 6 地点で大阪平野と同様の逆解析が行われている<sup>6)</sup>。この 6 地点は、都市部、近郊部、農村部に位置していることから土地利用と地表面温度履歴の比較が可能である。この結果、都心部で地表面温度上昇が大きく（約  $2.5\text{K}$ ）、次に近郊部（ $0.8\sim 1.5\text{K}$ ）が高いということが分かった。農村部についても地表面温度上昇が確認されたが、その上昇幅は  $0.5\text{K}$  以下と小さい。これらの結果を大阪平野の解析結果と比較すると、1900年以降の地表面温度上昇は、1960年頃まで、大阪とバンコクの都心部ではほぼ同程度の上昇率であるが、それ以降については、大阪の都心部のほうが 2 倍以上の上昇率で地表面温度が上昇している（図-8）。

#### 4.4 地下温暖化の今後

地下温暖化は現在も着実に進行中である。このような地下温暖化は、土壌微生物や地下水質への影響も懸念されることから、地下温暖化の実態を継続調査して把握するとともに、将来予測を行うことが重要である。そしてこの評価をもとに、地表面における緑化や散水等による地下温暖化低減の効果を実証試験等で検証したうえで、地下温暖化を抑制することが必要である。地下温暖化を抑制する方法として、地中の熱エネルギーを冷暖房等に活用する「地中熱利用システム」もそのひとつである。特に冬季の暖房時には、地中から熱を採熱することから効果的に地中を冷却し、自然状態の地下温度の回復に寄与できる可能性がある。一方で、夏季の冷房時には地下へ蓄熱する効果があることから、長期間の地中への熱収支を考慮するなどの運転方法を工夫し、地下環境への影響が少ない活用方法を確立する必要がある。

### 5. まとめ

大阪平野で測定した地下温度データのうち条件の良い 6 地点のデータを逆解析し、過去のおよそ 300 年間の地表面温度変動を推定した。この結果、1900年以降大阪都心部で温度の上昇幅は約  $6.0\text{K}$  で、周辺部で  $3.0\text{K}$ 、臨海部で  $4.0\text{K}$  であった。また蓄熱量も同様の傾向を示している。これは、自然状態の地表から人工的な地表面へと変化した土地利用の変化や都市排熱の影響との関連も原因のひとつであると解釈される。また大阪平野と他の地域（淡路島、関東北部、バンコク地域）の結果を比較すると、1970年代以降大阪都心部の温度上昇が他の地点に比べて際立って高いことが分かった。

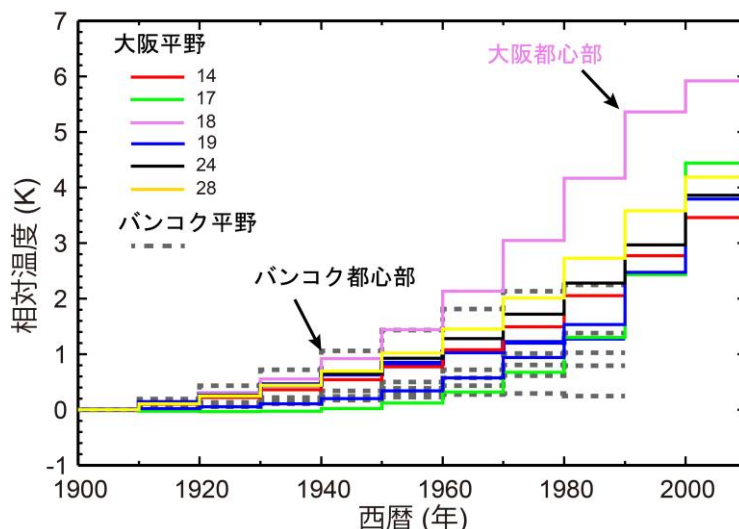


図-8 大阪平野とバンコク平野の地表面温度履歴復元結果の比較

現在の蓄熱量においても他の地域の2倍程度にも及ぶ。一方で、地下温暖化の将来予測やそれを抑制する技術の検証や確立が望まれる。

#### 謝辞：

この研究は、住友財団研究助成金「アジアの都市における地下温暖化に関する比較研究（研究代表者：谷口真人）」によって大阪平野の地下温度調査とその解析を、埼玉県における温度調査と解析を科学研究補助金「関東平野における地下熱汚染の把握と将来予測（課題番号 24710040）代表：（濱元栄起）」によって実施しました。本解析を行ううえで、東京大学地震研究所の山野誠博士と産業技術総合研究所の後藤秀作博士には有益なご助言を頂きました。ここに記して謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 田中館愛橘：地下温度調査第一回報告，震災豫防調査會報告，**45**, 17-51, 1903.
- 2) Uyeda, S., Yukutake T., Tanaoka, I. : Studies of the thermal state of the earth : the first paper : Preliminary report of terrestrial heat flow in Japan, *Bull. Earthq. Res. Inst.*, **36**, 251-273, 1958.
- 3) Chapman, D. S., Bartlett, M. G, and Harris, R. N.: Comment on "Ground vs. surface temperature trends: Implications for borehole surface temperature reconstructions" by M.E.Mann and G. Schmidt, *Geophys. Res. Lett.*, **31**, L07205, doi:07210.01029/02003GL019054, 2004.
- 4) Beltrami, H., Jessop, A. M., and Mareschal, J. C. : Ground temperature histories in eastern and central Canada from geothermal measurements: evidence of climatic change, *Global Planet. Change*, **6**, 167-184, 1992.
- 5) Hamamoto, H., Kamioka, S., Nishijima, J., Vuthy, M., Goto, S., and Taniguchi, M. : Estimation of the past ground surface temperature change from borehole temperature data in the Bangkok area, in *From headwaters to the ocean*, edited by Taniguchi, M., Burnett, W. C., Fukushima, Y., Haigh, M. and Umezawa, U., Taylor & Francis Group, London, 535-539, 2009.
- 6) 濱元栄起・山野誠・後藤秀作・谷口真人：地下温度データを用いた過去の地表面温度履歴の推定-バンコク地域への適用-, *物理探査*, **62**, 575-584, 2009.
- 7) Goto, S., Hamamoto, H., and Yamano, M. : Climatic and environmental changes at southeastern coast of Lake Biwa over past 3000 years, inferred from borehole temperature data, *Phys. Earth Planet. Inter.*, **152**, 314-325, 2005.
- 8) Goto, S., and Yamano, M. : Reconstruction of the 500-year ground surface temperature history of northern Awaji Island, southwest Japan, using a layered thermal property model, *Phys. Earth Planet. Inter.* **183**, 435-446, 2010.
- 9) Cermak, V., Safanda, J., Bodri, L., Yamano, M., and Gordeev, E. , A comparative study of geothermal and meteorological records of climate change in Kamchatka, *Stud. Geophys. Geod.*, **50**, 675-695, 2006.
- 10) Yamano, M., and Goto, S. : Long-term temperature monitoring in a borehole into the Nojima fault, southwest Japan., *Island Arc*, **10**, 326-335, 2001.
- 11) Taniguchi, M., and Uemura, T. : Effects of urbanization and groundwater flow on the subsurface temperature in Osaka, Japan, *Phys. Earth Planet. Inter.*, **152**, 305-313, 2005.
- 12) Huang, S., M. Taniguchi, M. Yamano, and Chung-ho : Detecting urbanization effects on surface and subsurface thermal environment-A case study of Osaka, *Sci. Total Environ.*, **407**, 3142-3152, 2009.
- 13) 有本弘孝・谷口真人・濱元栄起・岸本安弘・水間健二・小林 晃：大阪平野における地下温暖化の実態，*Kansai Geo-Symposium 2015 地下水地盤環境・防災・計測技術に関するシンポジウム論文集*，地盤工学会関西支部，pp.71-76, 2015.
- 14) 濱元栄起・有本弘孝・北岡豪一・谷口真人：大阪都心部における地下温暖化履歴の推定，*Kansai Geo-Symposium 2013 地下水地盤環境・防災・計測技術に関するシンポジウム論文集*，地盤工学会関西支部，pp.59-64, 2013.
- 15) 気象庁:ウェブページ <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/>, 2016.
- 16) Yamashita, A. : "Comparative Analysis on Land Use Distributions and Their Changes in Asian Mega Cities" in Makoto Taniguchi ed. *Groundwater and Subsurface Environments: Human Impacts in Asian Coastal Cities*, Springer, 61-81, 2011.
- 17) 濱元栄起・白石英孝・八戸昭一・石山 高・佐竹健太・宮越昭暢：地中熱利用システムのための地下温度情報の整備とポテンシャルの評価-埼玉県をモデルとして-，*物理探査*, **67**, No. 2, 107-119, 2014.
- 18) 濱元栄起・八戸昭一・白石英孝・石山高・佐竹健太・佐坂規規・宮越昭暢・林武司・山野誠：地下温度データ集:埼玉県地質地盤資料集，第三章，761-775, 2012.
- 19) Hamamoto, H., Yamano, M., Goto, S., Hachinohe, S., Shiraiishi, H., Ishiyama, T., Miyakoshi, A., Taniguchi, M., Arimoto, H., and Kitaoka, K. : Reconstruction of the thermal environment evolution from subsurface temperature distribution in Japan and Thailand, Abstract GC23C-1084, 2012.
- 20) 宮越昭暢・内田洋平・佐倉保夫・林武司:地下温度分布からみた関東平野の地下水流動，*日本水文学会誌*, **33**, 137-148, 2003.