

埼玉県における地下温暖化

—新たな環境変化と未利用エネルギーとしての活用—

土壌・地下水・地盤担当 濱元栄起

1 はじめに

地球温暖化によって過去 100 年間で世界的な平均気温が約 0.7℃上昇しています。特に都市部では、ヒートアイランド現象による影響が加わり、高い気温上昇になっています（例えば東京都心で約 3.2℃）。さらに気温だけではなく地下も温暖化していることがわかってきました。観測用の井戸で地下水中の温度の鉛直分布を計測すると、地下温暖化による影響がない自然状態では直線状の温度分布が測定されるのに対して、地下温暖化が進行していると地下数十mから地表にかけて温度が上昇し、湾曲した温度分布が測定されます。

地下温暖化についての研究は、これまで欧米地域を中心にわれ、各地域の地表面温度と地下温度との関係が明らかにされています。一方、アジア地域においては、まだ研究事例は少なく、濱元ほか（2009）がバンコク地域で測定した地下温度データをもとに解析した事例では、過去 100 年間に地表面温度が 0.4～2.4℃上昇していることが明らかになりました²⁾。この報告では、都市近郊地域や農村地帯よりも都心部の温度上昇幅が大きいことから、地下温暖化と都市化の程度とは関連があることを指摘しています。また、Miyakoshi ら（2008）は、東京周辺で集中した観測を行い、東京都心部と比べると温度が低いものの、都心部だけでなく郊外でも地下温暖化が進行していることを報告しています⁵⁾。大阪地域においても、同様の調査が行われ、同地域でも地下温暖化が進行していることが分かってきました^{1) 3)}。

地下の温度が上昇すると地中の微生物環境が変化したり、地下水の水質が変化したりする可能性があります。また地下水起源の湧水温度の上昇によってその周辺に生息する水生生物への影響が生じることも懸念されます。

このように、地下の環境を考えるうえで、地下の温度情報は重要であるにもかかわらず、これまで県内の地下温度に関する詳細な情報はほとんどありませんでした。そこで当センターでは、国の研究機関や大学と共同で地下温度調査を行い、地下温暖化がどの程度広がっているのかを調べています。

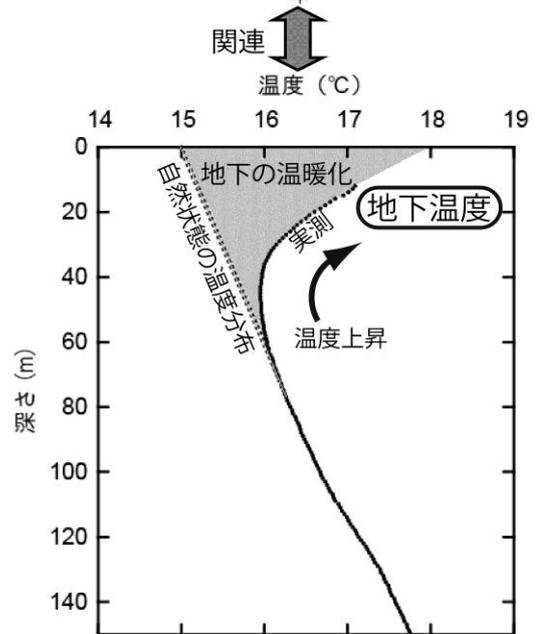
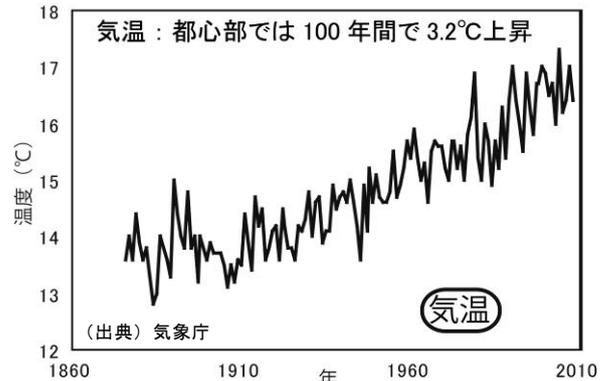


図 1 地下温暖化の概念図

2 埼玉県における地下温暖化の把握

2.1 地下温度調査

地下温度分布の詳細な傾向を把握するために、一般に用いられているよりも精密な温度計（分解能 0.001°C ）を用いた計測システムを新たに作成しました。このような高い分解能の装置を用いることで、地層中の地下水流動や地層の熱伝導率などを検知できるようになります。測定は、観測井の地表面から孔底に向かって、温度センサーを降下させながら行い、測定間隔は、原則として地表面から100mまでは0.5mまたは1m、それ以降は2mとしました。温度センサーによって計測される温度は、孔井内の水温ですが、調査に用いた観測井は日常的な揚水が行われておらず、多くの場合、周辺の地層と孔井内の水温はほぼ平衡状態にあると考えられます。したがって計測された水温を周辺地層の温度とみなすことができます。

埼玉県では県内の地盤沈下を監視する目的で、主に県の平野部に観測井を設置しています。これらのうち本研究で使用した観測井の位置を図2に示します。埼玉県は、西側の山地と東側の平野部（台地や低地）に大別することができます。山地周縁には丘陵や台地が分布しており、これらの表面は関東ローム層で覆われています。一方、東側の平野部には、低地とそれらに囲まれた大宮台地があります。この地域の地質は砂やシルト・粘土が主体です。

2.2 調査の結果

調査対象とした観測井では、多くの地点で数十メートル以浅から地表にかけて温度が上昇する傾向がみられます⁴⁾ (図3)。

例えば図3のエリア4に示した観測井2（橙色）もこのひとつであり、40m以浅では地表面に向かって温度が上昇しています。一般に地層温度は十数メートル程度の深さまで地表の四季の気温変化の影響（年周変動）を受けていますが、それよりも深い深度では気温の年周変動の影響を無視することができます。したがって上記の温度上昇は、過去数十年から百年程度の地表面の長期的な温度

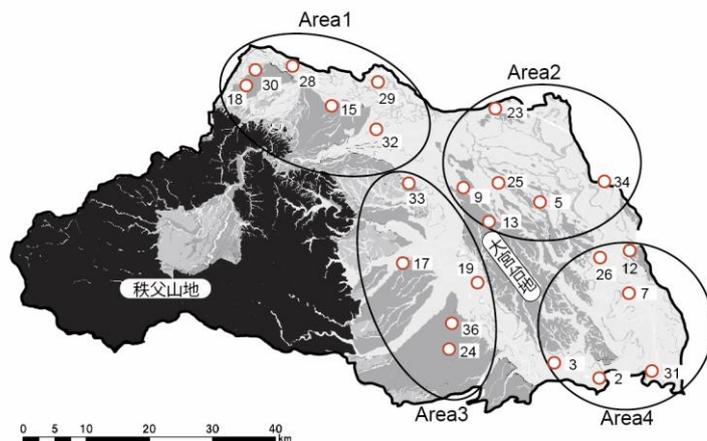


図2 地下温度測定調査地点

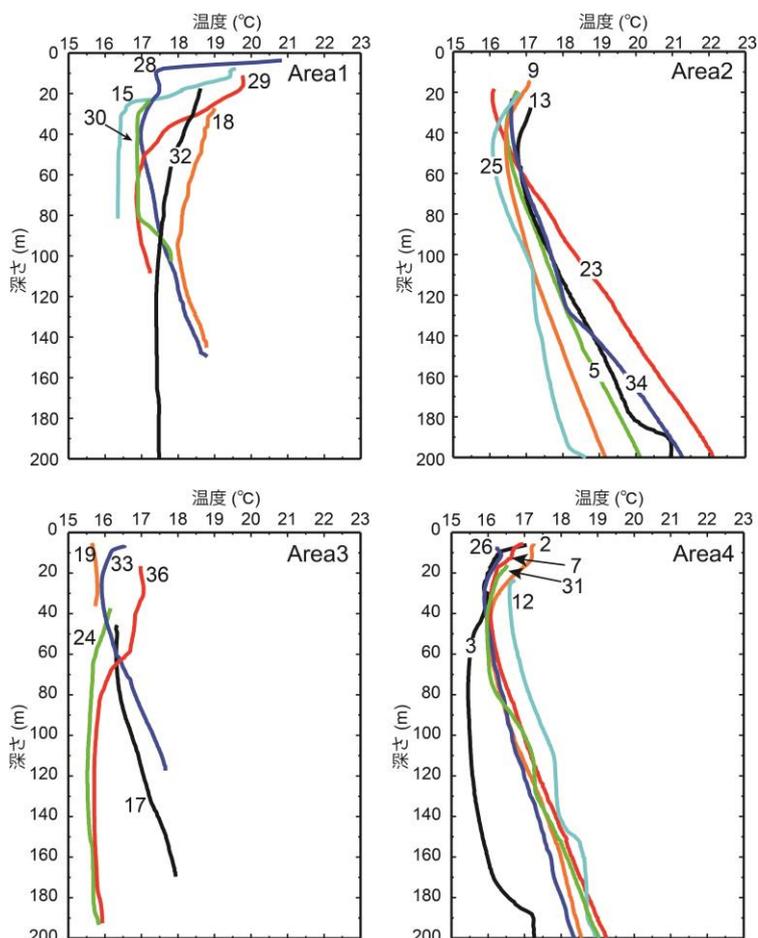


図3 地下温度測定結果

上昇がこの深さまで影響を及ぼしたものと推定されます。さらに同地点で約10年前に測定された地下温度分布と比較すると、現在の方が40m付近で約0.1℃高くなっています。このことから地表温度の上昇による影響が深部へ徐々に伝搬していることがわかります。

本研究で測定した観測井全体の傾向をみると地域的な違いはありますが、広い範囲で温度上昇していることがわかりました。地表面における温度上昇の原因としては、地球温暖化や都市のヒートアイランド現象などのほか、土地利用の変化、地下鉄や地下に埋設されている下水管からの排熱などが原因として挙げられます。特に土地利用の変化による影響は大きいと考えられます。例えば草地からアスファルトに変わった場合、地表面が温まりやすくなるため、地下に温度上昇という形で影響が伝わることとなります。一方、地下鉄や下水熱による影響は、これまでのところ定量的な測定や評価はなされていませんが、特に都市部ではその影響が無視できないと考えられています。いずれにせよ地下温暖化は、人間による経済活動や社会活動による影響が大きいと言えそうです。当センターでは今後も定期的に地下の温度を測定することで、地下温暖化を監視していく予定です。

3 未利用エネルギーとしての活用

近年、地下の熱環境をエネルギー源として用いる「地中熱エネルギー」の活用が期待されています。これは再生可能エネルギーのひとつであり、これを活用した「地中熱利用システム」は、省エネ効果に優れ環境に優しいことから国内でも急速に導入されはじめています。

このシステムは、暖房時に地中から採熱し、冷房時に地中に放熱します。地中の温度は年間を通じてほぼ一定であることから、通常のエアコンに比べて効率よく運転できることが大きな特徴です。埼玉県における暖房と冷房で、それぞれ使用する熱量を比較しますと、埼玉県では暖房として熱を使用するほうが大きい傾向にあります。したがって地中熱利用システムを利用する場合には、地中から採熱することで地下の温度を下げることになります。このため、地中が温かいほうが、暖房効率が高くなり全体として有利に働くと予想されます。

そこで当センターでは、観測井2を事例として地下温暖化によって地中が温まっている

状態と、そうでない状態との2つの場合において、地表で使う地中熱利用システムの効率などの程度違うのかを数値シミュレーションで計算しました(図4)。このシミュレーションでは、一般によく用いられる熱交換井内に2対のU字状の採熱チューブを挿入するダブルUチューブ方式を想定し計算しました。この結果、地下温暖化によって暖められている状態では、暖房時の効率が5%程度高まる可能性があることが予測されました。このことは視点を変えると、地中熱利用システムは、暖房運転時には地中の温度を下げる働きがあることから、適切な管理をしながら利用することで地下温暖化によって温まった地下環境を自然の熱環境の状態に近づけることが可能かもしれません。ただし、地下温

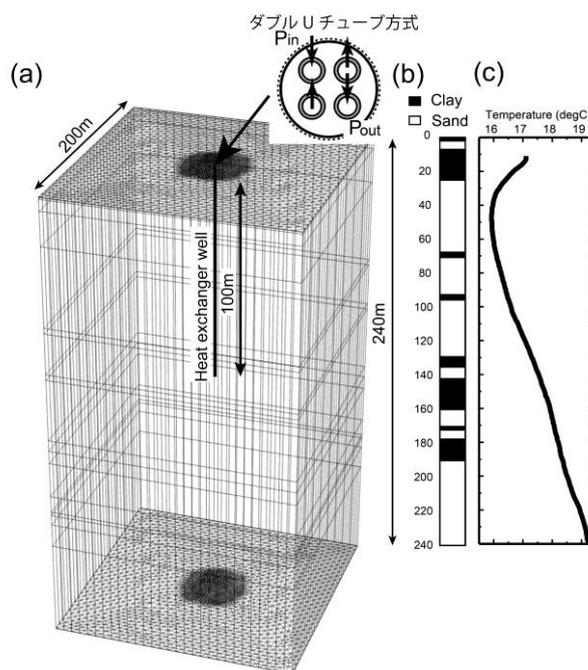


図4 地中熱シミュレーション

暖化は、面的に広い範囲に広がっているため、点状に設置する地中熱システムで熱を利用するとしても地下の熱環境を自然の状態に近づけるためには長時間を要し、地下環境を監視し熱のバランスをうまく取りながら活用することが重要であると考えています。

4 まとめ

埼玉県における地下温暖化について把握するため、県内の観測井を活用し地下温度測定をおこないました。この結果、埼玉県においても広い範囲で地下温暖化が進んでいることが分かりました。一方でこの地下温度上昇による熱を地中熱エネルギーの一部として活用することもできそうだと予測されました。今後も地下温暖化や地中熱利用による地下温度への影響を監視し、適切に地下の熱を活用していくことが重要だと考えています。

文献

- 1) 有本弘孝, 北岡豪一, 谷口真人, 濱元栄起(2013): 大阪都心部における地下温暖化の実態, 地盤工学会「一地下水地盤環境・防災・計測技術に関するシンポジウム一」, 53-58
- 2) 濱元栄起, 山野誠, 後藤秀作, 谷口真人(2009): 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, Vol. 62, No. 6, 575-564
- 3) 濱元栄起, 有本弘孝, 北岡豪一, 谷口真人(2013): 大阪都心部における地下温暖化履歴の推定, 地盤工学会「一地下水地盤環境・防災・計測技術に関するシンポジウム一」論文集, 59-64 (2013)
- 4) 濱元栄起, 白石英孝, 八戸昭一, 石山 高, 佐竹健太, 宮越昭暢 (2014): 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, Vol. 67, No. 2, 107-119
- 5) Miyakoshi, A., T. Hayashi, A. Marui, Y. Sakura, S. Kawashima, M. Kawai (2008): Evaluation of change in subsurface thermal environment due to groundwater flow in the Tokyo lowland, Japan, International Journal of Earth Sciences, vol.97 (2) (p.401 - 411)

謝辞

本発表は、当センターの自主研究課題や（独）日本学術振興会の科学研究助成金事業で実施した研究成果の一部をまとめたものです。埼玉県における調査の一部は、産業技術総合研究所、秋田大学、東京大学との共同研究によって行いました。またバンコク地域における調査は、国の研究機関である総合地球環境学研究所の研究プロジェクトとして、大阪地域における調査は、地下水地盤環境に関する研究協議会の研究プロジェクトに参画する形で実施しました（埼玉県のデータと比較するために、これらのデータは研究に活用されています）。埼玉県にける調査では、共同研究者である宮越昭暢博士（産業技術総合研究所）、林武司教授（秋田大学）、山野誠准教授（東京大学）に調査への同行や技術的な御助言を頂きました。また埼玉県環境部水環境課には地下水観測井の調査への御協力を、環境政策課にはエネルギー全般について情報交換をさせて頂きました。ここに記して謝意を表します。