

都市ヒートアイランド現象が地温に与える影響

—東京都内における観測結果—

玄地 裕*・大谷 武弘*・天野 治男*
小杉 信明**・長 豊**・長本 英俊**
小宮山 宏*

要 旨

東京郊外田無市内の農場と都市機能の集約度の高い東京都中央区内小学校跡地において、地中4 mまでの地温分布を1年間に亘って測定した。1次元熱伝導方程式により地表面温度から求めた小学校跡地の地温のシミュレーション結果は実測値と良く一致した。地表面温度と、同一場所の気温との相関は両地点共に高く、両者の日平均値は統計的にはほぼ一致した。年間変動の少ない地中4 mの年間平均地温は小学校跡地で18.9°C、田無市では16.9°Cであり、東京地域の過去の地温とされている15.0°Cと比較して、それぞれ、3.9、1.9°C高かった。以上の結果から、地温分布は気温と連動した地表面温度変化を通じて気温変動を反映していることが示された。すなわち、気温測定と補完的に解析することにより、地中温度はヒートアイランド現象を理解するための重要な指標となりうる可能性が示された。

1. はじめに

大都市における夏の高温化が、近年社会問題となっている。これは所謂ヒートアイランドの顕在化している問題の1つである。特に東京では(1)ピーク時電力需給の逼迫、(2)夏の高温化による都市住民の快適性の低下、(3)高温化によるエネルギー需要の増加とそれに伴うCO₂放出量の増加などの問題を引き起こし、地球規模、地域規模両面の環境を悪化させている。特にピーク電力の問題は深刻である。東京電力管内では、1994年度実績で1°Cの温度上昇は約150万kWの需要増を招いている。その結果首都圏は、もはや東京電力一社で電力をまかなうことが不可能な電力危機とも呼べる状況である。

このようなヒートアイランド問題に対する総合対策実現への1つの道筋として、実態把握、因果関係の解明、個別対策効果の評価というアプローチが考えられ

る。

現在、ヒートアイランド問題を解明し、対策を評価する上での問題点の1つは、ビルの林立する都心(ビル街区)の実態把握の困難さであろう。具体的には過去と比べた気温上昇量測定が困難なのである。都市化の影響による気温上昇量は、100年以上測定を続けている気象庁付近では推測が可能である。しかしながら、気象庁付近に比べエネルギー消費量が大きく、水分蒸発の欠如と建物の熱容量が大きいため複雑な熱環境であるビル街区(たとえば日本橋付近)の気温上昇量は、まったく知ることができないのが現状である。また、気象モデルにおいてビルの影響を表現することが難しいため、シミュレーションによるビル街区内部気温の再現ができないことも、気温上昇量を把握できない原因の1つである。

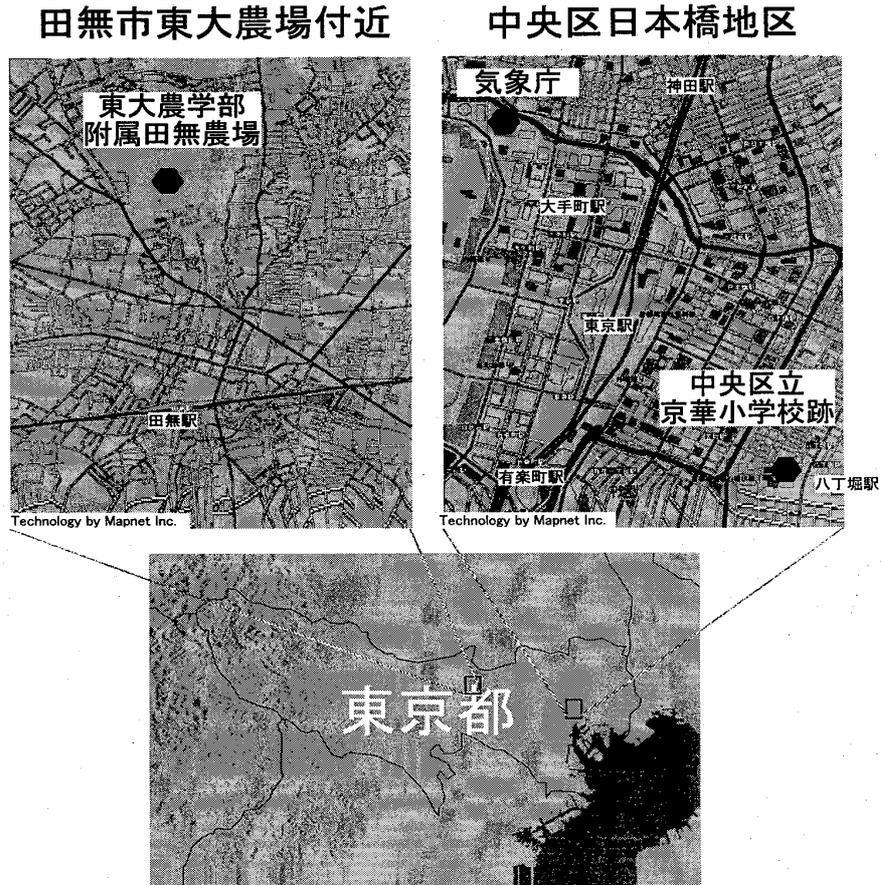
気温上昇量の把握に関しては、地球温暖化の研究分野でも議論されている。地球温暖化の有力な証拠の1つとして、北極圏の地表面温度上昇の歴史が記録されていると考えられたアラスカの永久凍土地温鉛直分布が取り上げられた(Lachenbruch and Marshall, 1986)。また、キューバでは、過去200~300年の間に地

* 東京大学大学院工学系研究科。

** 工学院大学工学部。

—1997年8月11日受領—

—1998年6月24日受理—



第1図 測定場所.

表面温度が2~3°C上昇していることが地温鉛直分布から明らかになり、焼畑などによる森林消失との関係が明らかにされた (Cermak *et al.*, 1992). これらは、気温上昇、地表面改変による地表面熱収支の変化が地下の鉛直温度分布に現れた例である。

本研究では都市の気温上昇も地表面熱収支の変化として地温鉛直分布から観測されると考え、東京都心部のヒートアイランドの実態把握のためにビル街区の気温上昇量を地温鉛直分布から推測できる可能性について検討した。

東京都内の地温は、東京管区气象台により地中1.2 mと3 mの地温測定が1955年まで行われていた。その観測結果によれば、都心では1930年代に入ってから地温の上昇が始まっている (三浦・尾島, 1985)。1926年から1935年の10年間の地中1.2 mの年平均値は14.8°C、地中3.0 mでは15.0°Cであったが、1946年から1949年の平均値は地中1.2 mで16.1°C、地中3.0 mでは16.3°Cまで上昇していた。郊外から都心に向けての温度上昇 (三浦・尾島, 1993) や、都心でも有楽町、銀座周辺から霞ヶ関にかけての地中0.9 mの地温が高

いという報告 (西沢, 1977) もある。しかし、三浦・尾島 (1993) のように地中1 mの地温と気温は相関がなかったと報告された例もあり、気温と地中温度の関係は明らかになっていないのが現状である。

本研究では都心ビル街区と郊外で、年平均地温の推測が可能な地中4 mまでの地温分布と気温の測定及び解析を行い、都心の気温と地温鉛直分布の関係を調べた。

2. 観測地点

測定場所を第1図に示す。東京都環境科学研究所 (1994) が1992年に行った東京都内を中心とした100箇所の気温観測データを参考にして観測地点を決定した。観測地点は都心ビル街区として特にエネルギー消費量大きい (資源環境技術総合研究所, 1997) 日本橋地区の中央区立京華小学校跡地を選んだ。比較のために郊外の東大農学部附属田無農場においても同様の観測を行った。測定場所は日射の差が小さくなるように日当たりの良い場所とした。地表面は京華小学校跡地がアスファルト、田無農場がコンクリートである。

都心ビル街区を想定し、共に不透水表面を選んだ。

3. 測定項目と装置

地温の日変化は地中50 cm 程度まで、年変化は地中十数 m まで起こる(西沢, 1977)。そこで測定深さは、日変化追跡のために2 cm, 3 cm, 10 cm, 50 cm, 年変化は年平均値が確認可能(近藤, 1994)な1 m, 4 mとした。さらに、測定場所の熱環境を知るために熱収支測定も行った。都心のビル街はほぼ地表面がアスファルトであるため、ヒートアイランドが顕著な晴天日には潜熱輸送を無視できると考え、熱収支測定項目は気温、正味放射量、下向き短波放射と下向き長波放射の合計量、上向き短波放射と上向き長波放射の合計量、地中への伝導熱流量とした。

測定に利用した測器、並びに具体的な測定方法を項目別に以下に示す。

(1) 気温

テフロン被覆 T 型熱電対温度計を用いて気温測定を行った。熱電対の先端部には、直径 5 mm 程度のシリコーンゴム塊を取り付けて、防水と測定精度の向上(日本気象学会関東支部, 1988)を行った。取り付け位置は、正味放射計に取り付けられた送風機の吸入口付近として、雨風と直達光の影響を避ける日射よけを取り付け、一定風速の条件での温度測定を行った。測定高度は1.5 m であった。

(2) 地表面温度及び地温

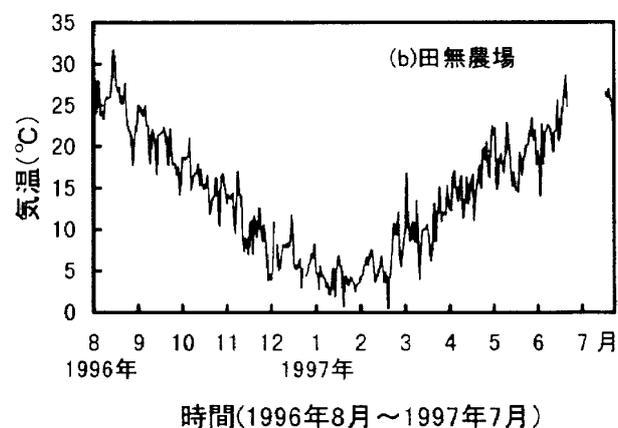
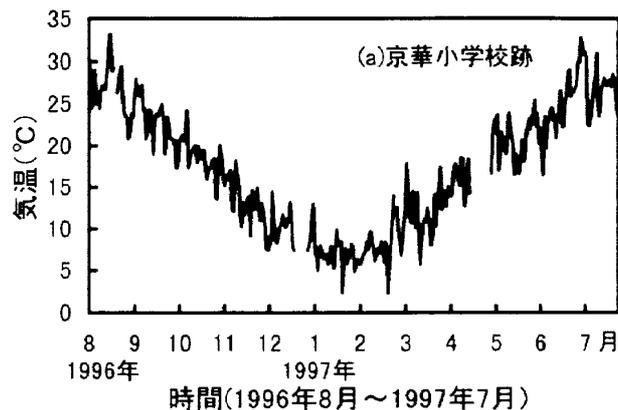
気温同様に、テフロン被覆 T 型熱電対温度計によって測定した。熱電対の先端部にはシリコーンゴムによる防水加工を施した。地表面温度は温度計を地表面にコンクリート、あるいはシリコーンゴムで固定して測定した。地温計は直径 2 cm 程度の塩ビ管に、熱電対温度計を固定させたものを自作した。測定場所に、直径 3 cm 程度、深さ 4 m の縦穴を掘り、この地温測定管を設置することで地温測定を行った。

(3) 正味放射量

測定装置は、THRDS7放射計(REBES 社製)(京華小学校跡地)と Q*7放射計(REBES 社製)(田無農場)を用いた。THRDS7は、下向き短波放射、下向き長波放射の合計量と上向き短波放射、上向き長波放射の合計量を別々に測定可能である。Q*7は正味放射量のみ測定である。送風機から一定の風を送り、結露防止を行った。

(4) 地中伝導熱流量

熱流板を地中 2 cm に設置することで測定を行っ



第2図 日平均気温の年変化。(a)京華小学校跡、(b)田無農場。

第1表 気温の年平均値(1996年8月1日~1997年7月31日)。

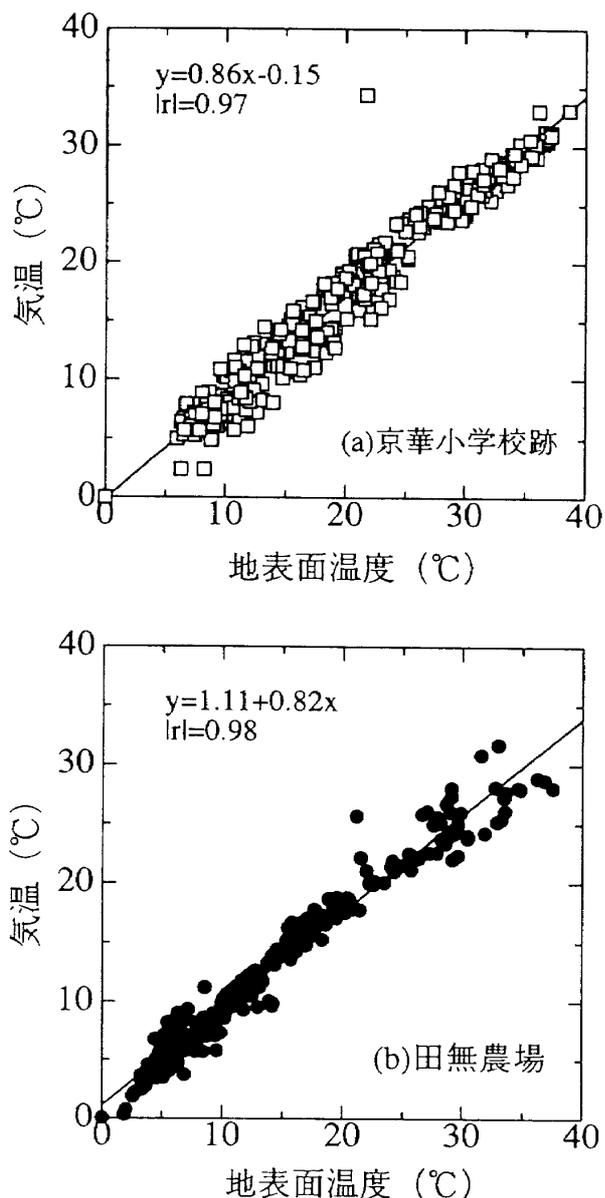
測定場所	年平均気温
京華小学校跡	17.1°C
田無農場	14.5°C

た。

観測は1996年7月上旬から開始し、地温が安定した1996年8月1日から1997年7月31日までの1年間のデータについて解析を行った。熱電対の検定は、室温におけるアスマン通風温度計との比較から誤差0.2°C以下であることを確認した。

4. 気温測定結果

1996年8月1日から1997年7月31日までの観測地点の日平均気温の変化を第2図に示す。約1年の気温変化から各観測地点の年平均気温を求めた(第1表)。年平均気温は、京華小学校跡が17.1°C、田無農場が14.5°Cであった。同じ期間の気象庁(大手町)の年平均気温



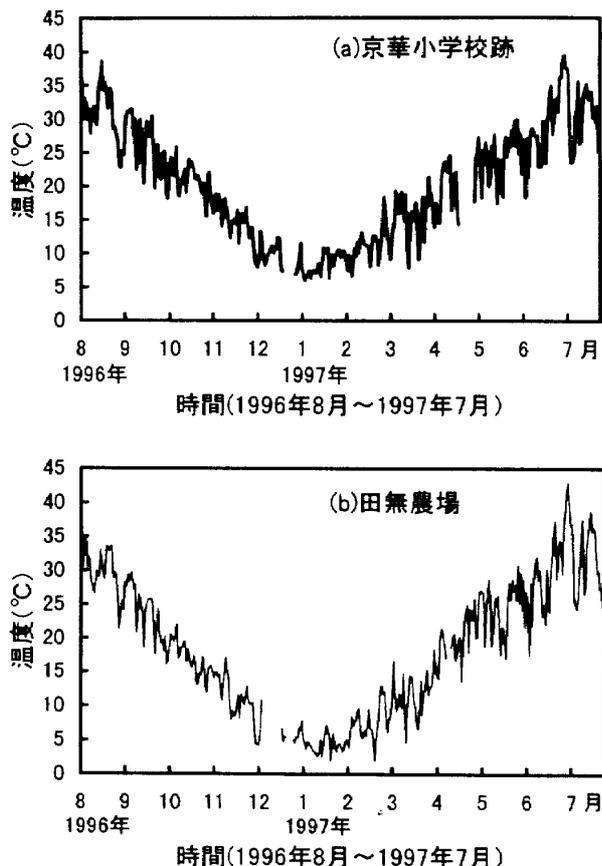
第3図 日平均地表面温度と日平均気温の関係。
(a) 京華小学校跡, (b) 田無農場。

は16.5°Cであった。京華小学校跡に対して郊外の田無農場は2.6°Cも低かった。都心ビル街区の田無基準のヒートアイランド強度(年平均)は2.6°Cであった。

観測からは、年変化では、夏の気温差よりも冬の気温差が顕著であり、日変化では、最高気温差よりも最低気温差が大きいという従来から指摘されている結果(例えばOke, 1982)が得られた。

5. 地表面温度と気温の関係

地表面温度と気温は地表面熱収支によって関係づけられる。しかし、熱収支は地表面材質、風速、地表面水分量などによって大きく変化するため、熱収支モデ

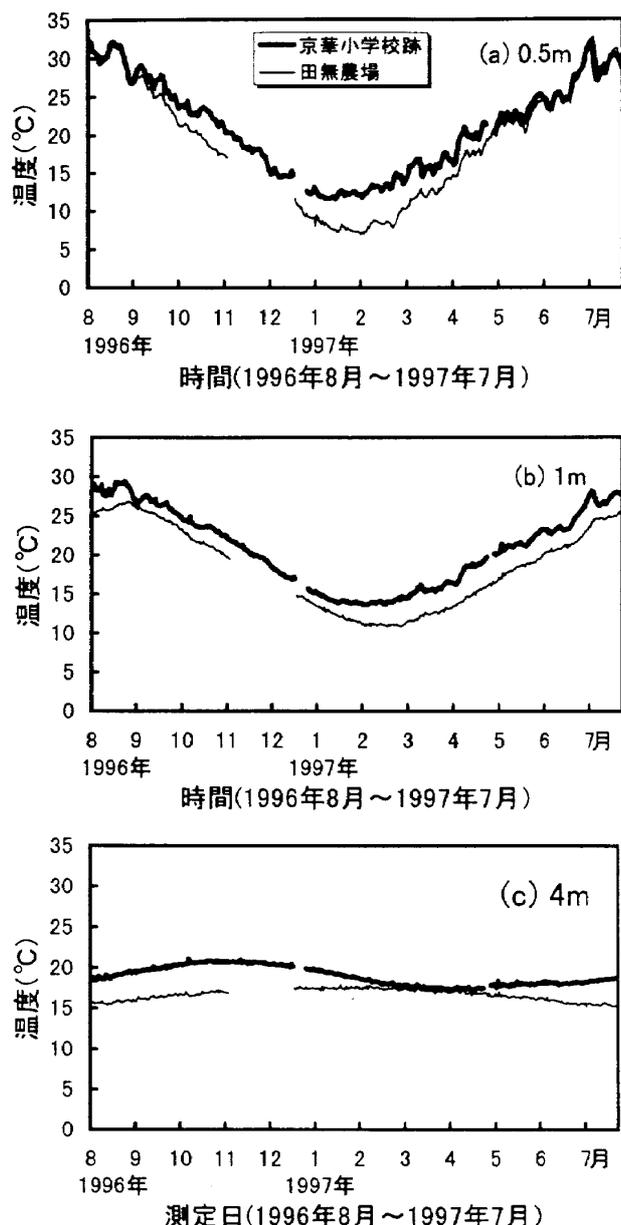


第4図 日平均地表面温度の年変化。(a) 京華小学校跡, (b) 田無農場。

ルによって地表面温度のみからその場所の気温を知ることは難しい。日変化には地表面温度と気温の変化に時間差が認められた。しかし、日平均値として整理した場合、地表面温度と気温には日単位の時間差は認められず、地表面温度と気温の推移は同じ傾向を示した。そこで、日平均値について統計的整理を行い、測定地点の地表面温度と気温を関係づけた。各測定点における日平均地表面温度と日平均気温の関係を第3図に示す。日平均の地表面温度と気温は相関係数 $r=0.97$ と良い相関を示した。京華小学校跡、田無農場共に、比例係数は0.85程度であるため、1°Cの日平均地表面温度の上昇は0.85°Cの日平均気温の上昇に相当した。日平均値を大まかに推定する上では、地表面温度と気温は比例関係であると考えられた。

6. 地温測定結果

1996年8月1日から1997年7月31日までの各観測地点の地表面と、地中50 cm, 1 m, 4 mの日平均温度の変化をそれぞれ第4図、第5図に示す。京華小学校跡では、地表面のピークが50 cm では約2週間、1 m では



第5図 日平均地温の年変化。(a)0.5 m, (b)1.0 m, (c) 4.0 m.

約1か月、4 mでは約3か月遅れて現れている。それに対して、田無農場では、50 cm, 1 mの遅れ時間は京華小学校跡と変わらないが、4 mでは約6か月もの遅れが生じていた。以上のことから、京華小学校跡と田無農場の熱拡散係数を比較すると、地中1 mまでは同程度であるが、地中1 m~4 mの間は京華小学校跡の値が大きいものと予測された。

地温の年平均値を第2表に示す。年平均値で比較すると、ビル街区の京華小学校跡と郊外の田無農場の温度差は、地中4 mで2.0°Cであった。三浦・尾島(1993)によって観測された結果では、地中1 mで、都心(大手町)と郊外(清瀬)の温度差として最大7°Cの温度

第2表 地温の年平均値(1996年8月1日~1997年7月31日)。

測定深度	京華小学校跡	田無農場
地表	20.0°C	17.3°C
50 cm	21.0°C	16.7°C
1 m	20.7°C	16.3°C
4 m	18.9°C	16.9°C

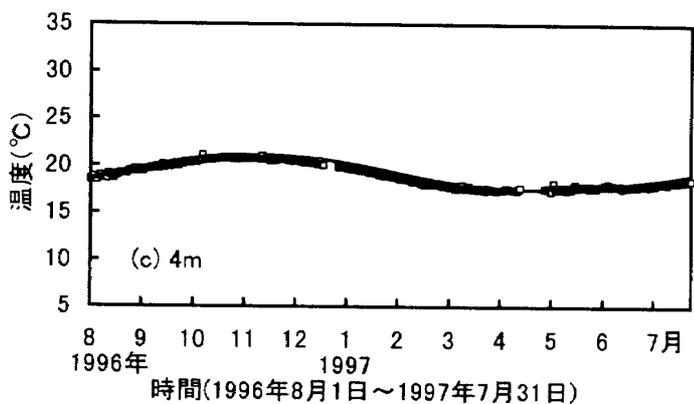
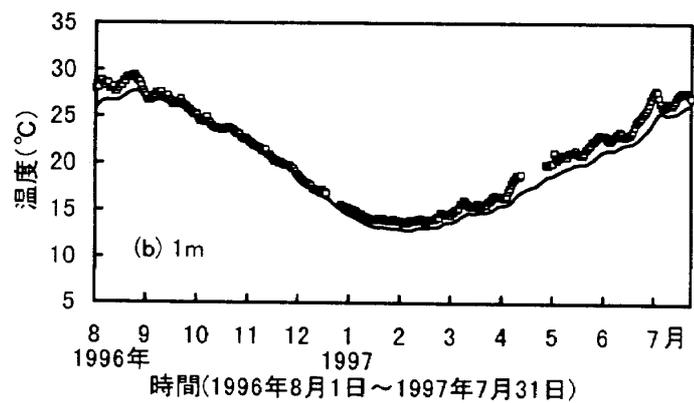
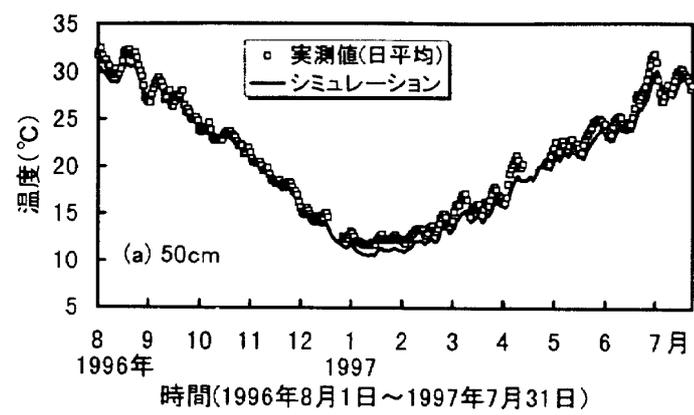
差が観測されているが、地中5 mで大手町と清瀬の温度差はほとんどなく、ともに15°C程度の温度であったと報告されている。我々の観測では、地中4 m以下の温度でも場所による差が認められた。掘削時の水位調査によれば、京華小学校跡の地下水位は5.6 m付近であり、田無農場も4 m以深であることが確認された。又、測定場所の地表面は共に不透水であるため、降雨等による地下水流及び土壌水分量変化の影響も小さいと思われた。

7. シミュレーションによる気温上昇の地温への影響検討

地温の鉛直分布は、地表面温度変化が地中に熱伝導された結果であると推測された。そこで、地表面温度が変化した場合の地温分布の経時変化を地中熱拡散モデルによるシミュレーションによって再現した。実測値とシミュレーション結果を比較することで地表面温度の影響が地中に現れていることを検証した。観測地点は小学校の校庭や農場であるため、観測地表面が十分広く、均一であると仮定して地中への熱拡散は1次元で考えた。熱伝導を支配する地中の熱拡散係数は、現実には地質構造、土壌水分量等によって変化する。しかしここでは地表面が不透水層であることを考慮して土壌水分量の変化は無視できると仮定し、地質によって熱拡散係数 α [m²/s] が一意に決まり、時間変化もないとした。観測地点の地質については、温度計設置時に調査した。京華小学校跡は、アスファルト層表面が約0.03 m、その下の地中1.6 mまでは埋土、さらにその下は砂質粘土層であった。そのためシミュレーションにおいては、地中1.6 mまでとそれ以深の2つの熱拡散係数 α [m²/s] をパラメータとして用いた。地温を $\theta(t, z)$ とすると地中熱伝導式は以下の通りである。

$$\frac{\partial \theta(t, z)}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 \theta(t, z)}{\partial z^2} \quad (1)$$

この式を陽解法によって差分化し、シミュレーショ



第6図 実測値とシミュレーション結果の比較 (京華小学校跡). (a) 0.5 m, (b) 1.0 m, (c) 4.0 m.

ンを行った. 境界条件, 初期条件を以下に示す.
 境界条件:
 $\theta(t, 0) = T_s(\text{観測値})$ at $z=0$ m (2)
 $\theta(t, 15) = \theta_0(\text{一定})$ at $z=15$ m (3)
 初期条件: 1996年8月1日午前0時の地温分布, 4 m以深は指数関数的に近似
 計算期間: 1996年8月1日から1997年7月31日まで
 時間刻み: 15分
 計算メッシュ幅: 時間刻みと安定条件を考慮して10 cm (一定)
 計算深さは, 計算期間では温度変化が起こらないと

第3表 シミュレーションから求めた熱拡散係数と文献値 (近藤, 1994) の比較.

測定地点・地質	熱拡散係数 α [m^2/s]
京華小学校跡 (0~1.6 m)	3.7×10^{-7}
(1.6 m~)	6.6×10^{-7}
田無農場	2.4×10^{-7}
乾燥砂地・粘土	2.3×10^{-7}
湿り砂地・粘土	6.6×10^{-7}
コンクリート	8.1×10^{-7}
アスファルト	5.0×10^{-7}
関東ローム	9.0×10^{-7}

考えられた15 mとした. 地中15 mの温度は, 付近の井戸水の温度を参考にして17°Cとした. 熱拡散係数 α [m^2/s] の推定は, 文献値 (近藤, 1994) を参考にして逐次的に行った. 各測定深度の温度と経時変化を最も良く再現した値を熱拡散係数 α [m^2/s] とした.

シミュレーション結果と測定値の比較を第6図に示す. 求めた熱拡散係数を第3表に示す. 京華小学校跡では, 地表から1.6 mまでの熱拡散係数を $3.7 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$, 1.6 m以深を $6.6 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ とした場合に最もよく測定値の経時変化を再現した.

田無農場における測定データに関しても同様にして地中熱拡散係数を求めた. 境界条件も地表面温度の欠測期間が多かったことから, 地中10 cmの地温を用いた. 地中15 mの地温は, 地下水温を参考に16.6°Cとした. 地中構造は京華小学校跡と異なり, コンクリート0.05 mの下は地中4 m以深まで関東ローム層であった. そのため, 地表面から地中15 mまでを同一の熱拡散係数で計算した.

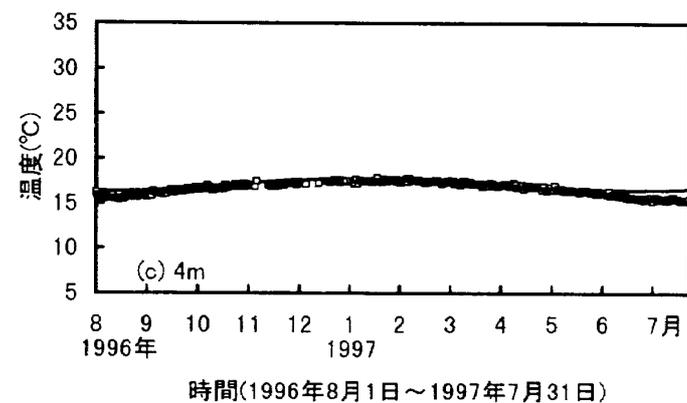
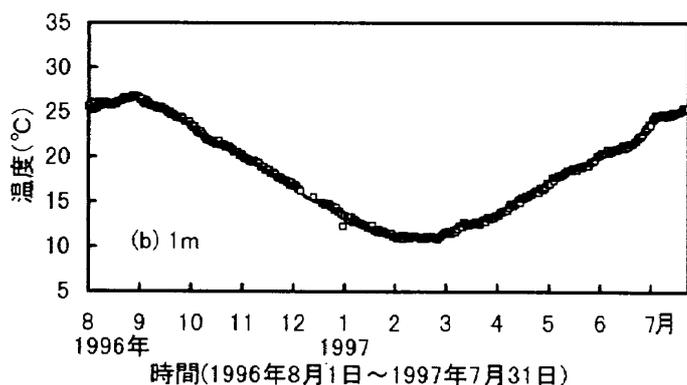
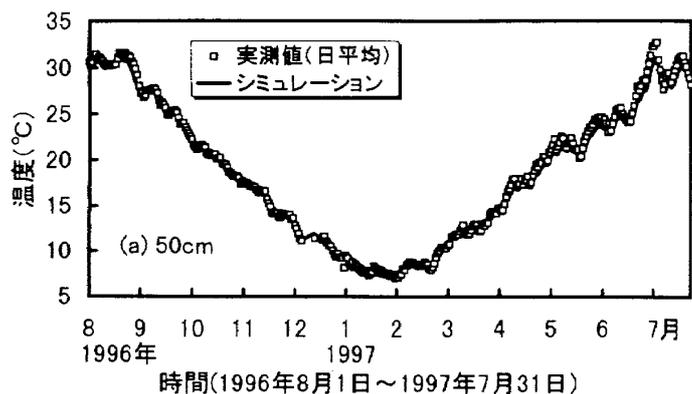
田無農場における計算期間の地温とシミュレーションから得られた地温の比較を第7図に示す. 熱拡散係数を $2.4 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ としたシミュレーションは, よく実測値の経時変化を再現した.

シミュレーションと実測の比較から, 京華小学校跡と田無農場の少なくとも地中4 mまでは地層ごとの熱拡散係数を仮定することで1次元熱拡散方程式によって実測値を再現できた.

8. なぜ京華小学校跡地中4 mの温度が高いのか

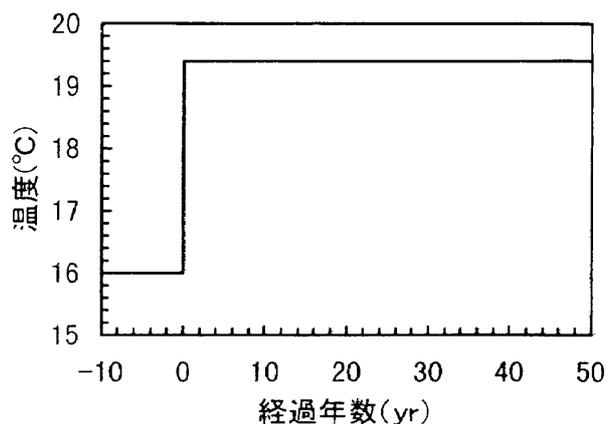
実測した地温の経時変化は1次元の熱拡散のみを考慮することで合理的に説明された. このことから, 地中4 mまでの地温分布には地表面温度変化が反映されていた.

京華小学校跡では, 田無農場に比べて地中4 mで

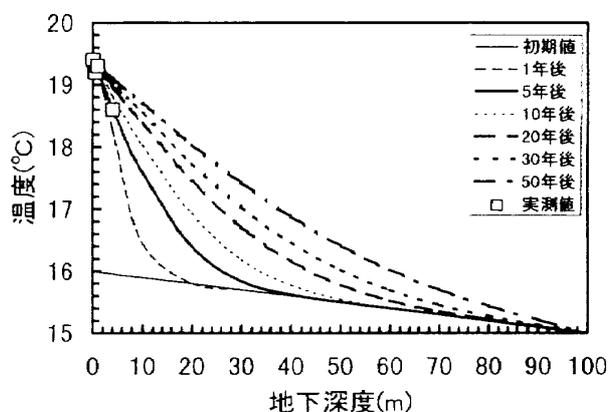


第7図 実測値とシミュレーション結果の比較 (田無農場). (a) 0.5 m, (b) 1.0 m, (c) 4.0 m.

2.0°Cもの温度上昇が起きていた. 地中の熱拡散係数が大きい場合には, 例えば, 1年間の地表面温度上昇で地中4 mの地温が2.0°C上昇する可能性がある. この場合には, 1年間京華小学校の地表面温度が高くなっただけで地温の上昇が観測されたことになる. そこで, もっとも地温上昇が大きい場合として, 年平均地表面温度が1946年の16.0°C (地中1.2 mと3.0 mの気象庁観測データから外挿) から観測値の20.0°Cに突然上昇し, その温度を保った場合, 地中4 mの経年温度変化は何°Cであるかシミュレーションによって検討した. 計算条件を以下に示す.



仮定した地表面温度の経年変化



第8図 仮定した地表面温度の経年変化と地表面温度が上昇したときの地温分布の経年変化 (京華小学校跡).

境界条件:

$$T_s = A \sin \omega t + T_{s0} \quad \text{at } z=0 \text{ m} \quad (4)$$

$$\theta(t, 100) = 15^\circ\text{C} \quad (\text{一定}) \quad \text{at } z=100 \text{ m} \quad (5)$$

初期条件: 地表面温度が16.0°C, 地中温度は100 mで15.0°Cとして線形近似 (1946年を仮定).

A [°C]は地表面温度の振幅, T_{s0} は初期地表面温度, ω は年変化の振動数で $\omega = 1.99 \times 10^{-7} \text{s}^{-1}$ である. A は, 我々の観測から得られた京華小学校跡の地表面温度の振幅15°Cとした. T_{s0} は京華小学校跡の測定データをもとに20.0°Cとした. 地中熱拡散係数 α [m^2/s]は地中4 mまでのシミュレーションから求めた京華小学校跡の値を適用した (4 m以下の値は下層の熱拡散係数をそのまま用いた). 時刻とメッシュ幅は地中4 mまでの検討と同様とした.

シミュレーション結果を第8図に示す. 1年前に突然年平均地表面温度が16°Cから20.0°Cに上昇したと仮定した場合, 地中4 mの温度は18.2°Cにとどまり, 実測値の18.9°Cまでは上昇しなかった. 地中4 mが

18.9°Cに上昇するためには少なくとも5年間年平均地表面温度が20.0°Cでなければならなかった。

シミュレーションには、地中40 m付近でも約1°Cもの地温上昇が現れた。50年程度の長期間、地表面温度が上昇した場合には、地中100 m程度まで地温上昇が起きている可能性が示唆された。地表面のアスファルト化によって年平均地中温度が上昇する例(下田ほか, 1989)も報告されている。そのため観測から得られた気温と地表面温度の相関関係と共に、地表面改変の影響も考慮して解析を行う必要はあるが、今後地表面材質と気温の関係、地下構造と共に地中100 m程度までの地温分布を測定することによって、東京の地表面温度とそれに連動した気温の歴史を推定できる可能性が示された。

9. 結論

都市機能の集約度の高い東京都中央区京華小学校跡地と東京郊外田無市東大農学部附属田無農場において、地中4 mまでの温度分布を約1年間に亘って測定した。

年間変動の少ない地中4 mの年間平均地温は京華小学校跡地で18.9°C、田無市では16.9°Cであった。東京地域の過去の地温として観測されている15.0°C(1930年気象庁地中3 m)と比較して、それぞれ、3.9、1.9°C高かった。

地表面温度と同一場所の気温との相関は高く、気温上昇は地表面温度の上昇と連動していた。

1次元熱伝導方程式において、地層に依存する熱拡散係数を仮定し、境界条件として、地表面温度の実測値と地中深部における地温を用いることにより、京華小学校跡及び田無農場の地温の年変化を再現した。この時用いた熱拡散係数は文献値と比較して妥当な値であった。

階段状に年平均地表面温度上昇が起きた場合に考えられる地温変化との比較から、京華小学校跡地中4 mの観測値まで地温が上昇するためには、少なくとも5年以上年平均地表面温度が20.0°Cである必要があった。計算上50年間年平均地表面温度が20.0°Cに保たれた場合、地中100 m程度まで地温上昇があらわれたことから、地表面改変の影響も考慮して解析を行う必要

はあるが、地下構造と共に地温鉛直分布を測定することによって、東京の地表面温度とそれに連動した気温の歴史を推定できる可能性が示唆された。

以上の結果より地温鉛直分布は気温と連動した地表面温度変化を通じて気温変動を反映していると考えられた。気温測定と補完的に解析することにより、地温はヒートアイランド現象を理解するための重要な指標となりうる可能性が示された。

謝辞

測定にご協力いただいた中央区総務部経理課の皆様と、東大農学部附属田無農場の皆様に感謝いたします。

参考文献

- Cermak, V., L. Bodri, and J. Safanda, 1992: Underground temperature fields and changing climate: evidence from Cuba, *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol. (Global Planet. Change Sect.)*, **97**, 325-337.
- 近藤純正, 1994: 水環境の気象学, 朝倉書店, 350pp.
- 資源環境技術総合研究所環境影響予測部, 1997: 大都市における夏季高温化対策技術の評価手法の開発, 資源環境技術総合研究所, 311pp.
- 下田吉之, 水野 稔, 内藤和夫, 1989: 都市化による地中温度の上昇に関する研究, *空気調和・衛生工学会論文集*, **41**, 85-93.
- 西沢利栄, 1977: 熱汚染, 三省堂, 222pp.
- Lachenbruch A. H. and B. V. Marshall, 1986: Changing climate: Geothermal evidence from permafrost in the Alaskan Arctic, *Science*, **234**, 689-696.
- 三浦昌生, 尾島俊雄, 1985: 東京における地中温度分布に関する実測調査研究, *日本建築学会計画論文報告集*, **348**, 11-18.
- 三浦昌生, 尾島俊雄, 1993: 95地点の実測による都心と郊外の地中温度差について 東京における地中温度分布に関する実測調査研究その2, *日本建築学会計画論文報告集*, **454**, 35-44.
- 日本気象学会関東支部編, 1988: 農業気象の測器と測定法, 農業技術協会, 332pp.
- Oke T. R., 1982: The energetic basis of the urban heat island, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **108**, 1-24.
- 東京都環境科学研究所, 1994: ヒートアイランドに関する調査報告書, 財団法人計量計画研究所.

Evidence for Urban Heat Island Phenomena in Soil Temperature Profiles in Tokyo

Yutaka Genchi*, Takehiro Otani**, Haruo Amano**,
Nobuaki Kosugi***, Yutaka Osa***,
Hidetoshi Nagamoto*** and Hiroshi Komiyama**

* (Corresponding author) Department of Chemical System Engineering, School of Engineering, University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, 118-8656, JAPAN

** Department of Chemical System Engineering, School of Engineering, University of Tokyo

*** Faculty of Engineering, Kogakuin University

(Received 11 August 1997 ; Accepted 24 June 1998)

Abstract

Underground temperature profiles from ground level to 4m below the surface were measured for about 1 year at two locations in Tokyo, Japan. The first site was Kyoka elementary school in Chuo-ku, a highly urbanized area. The second site was Tanashi city, a rural area. A one-dimensional thermal diffusion simulation was carried out for the underground temperature field in Kyoka, and the results were in good agreement with the measurements. Daily averages of the ground surface temperature and the air temperature directly above the surface showed a linear correlation. Annual average temperatures at 4 m below the surface were 18.9°C in Kyoka and 16.9°C in Tanashi. The yearly fluctuations at both sites were small. In comparison with the past underground temperature in Tokyo of 15.0°C, the underground temperature at Kyoka and Tanashi were 3.9°C and 1.9°C higher, respectively.

From these results, the underground temperature fields are shown to record air temperature changes through fluctuations in the ground surface temperature, which was highly correlated with air temperature. Thus we can consider the underground temperature field to be a recorder of past changes in air temperature. Through analysis with air temperature fields, underground temperature fields could be important as both indices and evidence for urban heat island phenomena.