

街路空間における放射量と温度の空間平均と変動

—新宿御苑周辺市街地を例として—

Spatial average and variation of radiation and temperature within a street canyon

—Case study in the city area around Shinjyuku Gyoen Park—

高野武将* 成田健一** 三上岳彦*** 菅原広史**** 本條 毅*****

Takemasa TAKANO, Ken-ichi NARITA, Takehiko MIKAMI, Hirohumi SUGAWARA and Tsuyoshi HONJO

要旨：さまざまな建物で囲まれた複雑な街路空間の熱・放射環境の実態を把握することは、ヒートアイランドの研究を進める上で重要なポイントである。本研究では、新宿御苑を対象とした緑地影響把握の観測の一環として行った自動車による周辺市街地移動観測のデータを用い、現実の街路空間における気温の変動特性について考察した。また、同時に測定した街路空間の日射と長波放射、ならびに路面温度の変化についても解析し、建物影響を受けた市街地における実態を明らかにした。さらに、自動車の表面温度についても考察し、車体温度が路面温度とは大きく異なる温度レベルと時間変化を示し、街路空間の熱環境を考える上で無視できない存在であることを示した。

キーワード：ヒートアイランド 都市キャノピー層 長波放射量

Abstract : Urban area is an aggregation of various sizes and shapes of buildings. So radiation and temperature fields within urban street canyon are very complicated. In this study, spatial average and variation of air temperature, road surface temperature, solar radiation and downward long wave radiation were measured around Shinjyuku Gyoen Park by automobile moving observations. The variation of air temperature along streets amounted to 1°C as a standard deviation, and its average is largely different from rooftop temperature and nearest routine observation data. And surface temperature of automobile was also analyzed. The engine room has extremely high temperature even during night, while roof surface was getting cold rapidly than road surface in the evening because of its small thermal capacity.

Key Words : heat island urban canopy layer long wave radiation

1. 研究目的

ここ数年、環境省などが、ヒートアイランド対策を具体的な施策として取り上げる動きを進めている。それを反映して、緑化の推進や街区構造の改変がヒートアイランド対策としてどのような効果をもつのか、その定量的な評価が求められている。このような評価や予測のツールとして有効な都市気候モデルの研究も、近年急速な進歩を遂げている。建物の存在による日射・長波放射の反射や再放射、気流に対する空気抵抗を取り入れた「都市キャノピーモデル」(例えば、近藤ほか1998)も開発されているが、取り扱える対象は単純な形状の建物が一律に配列している市街地に限られる。個々の建物形状を反映できる乱流モデル(例えば、吉田ほか2000)も存在するが、街区など広域な解析ができるには至っていない。

一方、モデルの検証データを得ることを目的とした観測も行われているが、実在する市街地構造の複雑さを念頭におくと、対象エリアの代表性が常に問題として残る。

同じように、ヒートアイランド強度の評価や、都市内緑地のクールアイランド効果を評価する際の基準温度としても、市街地の代表温度が必要となる。

以上のことから、風洞実験等で均等配列を対象とした基礎的な考察を進める一方、現実の市街地の複雑さがどれくらい空間変動を生んでいるかという、実態把握も必要と思われる。このような複雑性に焦点をあてた検討は、均等配列における成果の適用限界を把握する上でも、また実測結果の位置づけを考える上でも有用と思われる。

筆者らは、都市内緑地の微気象効果を把握する目的で新宿御苑を対象とした実測を行ってきたが、その中で市街地基準温度の重要性を認識し、その把握のための移動観測を繰り返し行ってきた。本稿では、これらのデータを用いて現実の街路空間における気温の変動特性について考察を加えた。また、気温変動の原因を調べるため、同時に測定した街路空間の日射と長波放射、ならびに路面温度の変化についても解析し、関連性を検討した。

*日本工業大学大学院工学研究科建築学専攻、**日本工業大学工学部、

東京都立大学大学院理学研究科、*防衛大学地球海洋学科、*****千葉大学大学院自然科学研究科



図1 自動車による移動観測ルートと定点観測位置

2. 実測方法

移動観測ルートは新宿御苑を囲むように回るコースで、市街地内の街路幅、方位、天空率の異なる様々な街路を含むように選定した(図1)。日中は1時間毎、夜間は3時間毎に移動観測を行い、平均所要時間は約25分であった。観測期間は、2002年7月23日~7月29日の6日間で、データのサンプリング間隔は1秒とした。

車体前方に突き出したポールの先端に日射遮蔽筒(自然通風・二重筒)を取り付け、その中にサーミスタ温度計を装着、また日射量(S↓)と下向き長波放射量(L↓)は自動車のルーフに、全天日射計と精密赤外放射計を設置し測定した。さらにボンネットに赤外線放射温度計を前方下向きに設置して路面温度を、ボンネットとルーフには熱電対を約10cmアルミテープで貼り付けて表面温度を測定した(図2)。赤外線放射温度計による路面の測定範囲は、設置後、発熱体を使用し、車体前方1m~2mであることを確認した。

なお、本観測は御苑における緑地効果の把握の一環として行っているため、御苑内(図中☆印)においても連続で同様の項目を連続観測しており、各移動観測期間の同時データを切り出し、比較に用いた。また、今回の地上レベルでの移動観測気温と比較するため、御苑の北側に位置する6階建てビルの屋上で測定されている気温(図中★印^{註1)})を「屋上面気温」として参照した。

自動車による気温移動観測では、前方車両の排熱影響等が避けられない(例えば、佐橋1983)。この種の誤差

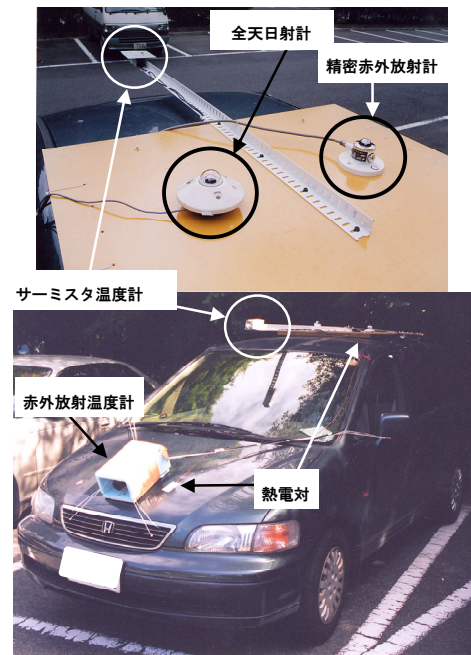


図2 自動車への測器の取り付け状況

は、例えば周囲の緑地率など、土地利用との関係を考察する場合には、エリアの空間代表気温の把握が目的であるため致命的となる。しかしながら、本論の目的は、そのような自動車排熱およびその滞留の影響を受けた街路内気温の実態把握であり、自動車の影響を完全に排除した測定を意図したものではない。従って、自動車の影響は極力受けまいよう配慮したが、以下の解析では渋滞時のデータを削除するなどの操作は行っていない。

3. 気温と表面温度の実測結果

図3に、御苑内の中央芝生広場で測定された観測期間の気象概要を示す。ほぼ晴天であった7月23日、および26・27日は、いずれも練馬のアメダスで34.5℃以上を記録した猛暑であった。なお夜間については、7月22日の夜半から23日の早朝にかけてと27日の早朝、特に晴天・静穏状態となり、強い放射冷却が観測された。

図4に、移動観測による街路内気温(以下「市街地気温」と表記)を用いた場合の、御苑のクールアイランド強度の変化を示す。ここでは、御苑内気温(高さ2m、2秒毎)の各移動観測期間の時間平均値と上記の市街地気温(ルート全体の平均値)との差をクールアイランド強度としている。また、図では街路内気温の空間的なバラツキを、約1500個(1秒毎約25分間)のデータから求めた標準偏差(σ)を用いて示している。図5は路面温度の変化を、同様に平均値と標準偏差(σ)を用いて表している^{註2)}。

御苑のクールアイランド強度は、全体としては日中に大きく夜間に小さくなる傾向を示しているが、夜間でも

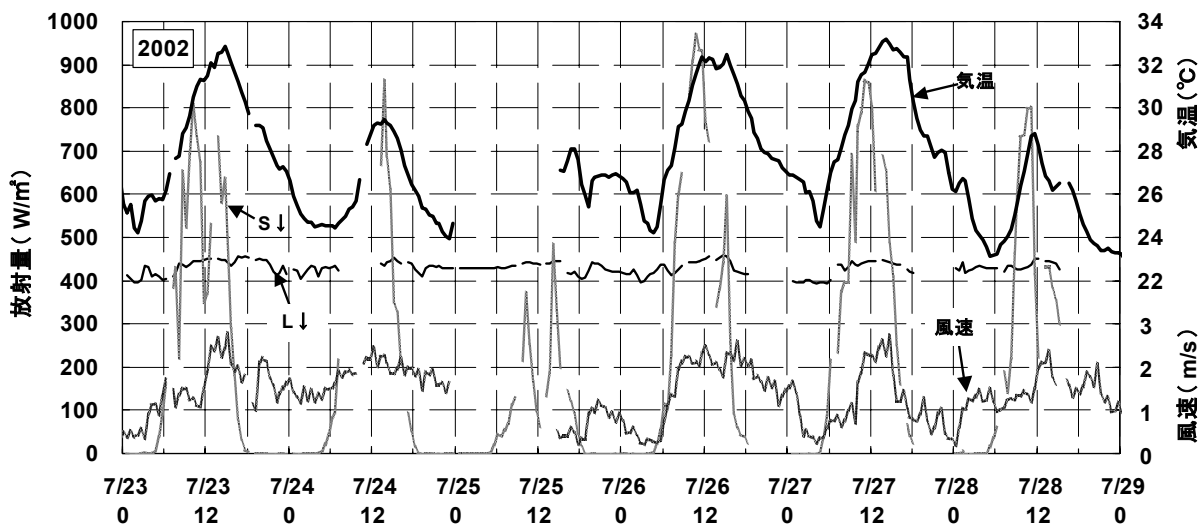


図3 観測期間の気象要素の変化

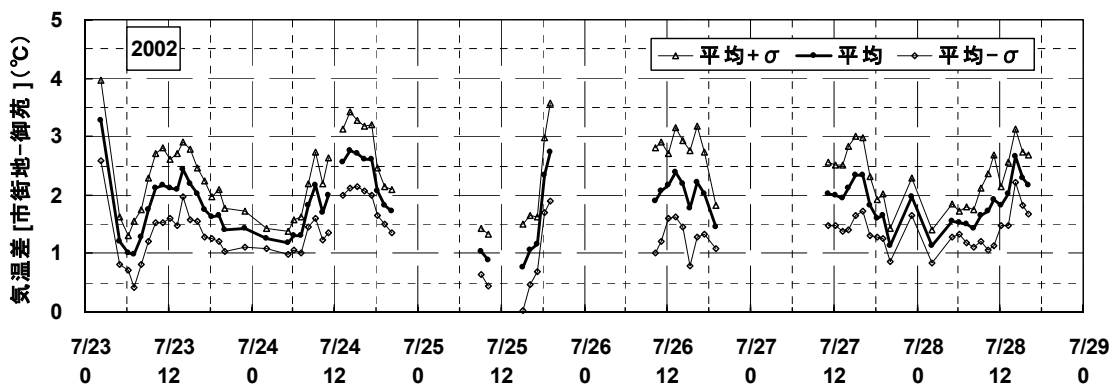


図4 御苑のクールアイランド強度と変動幅

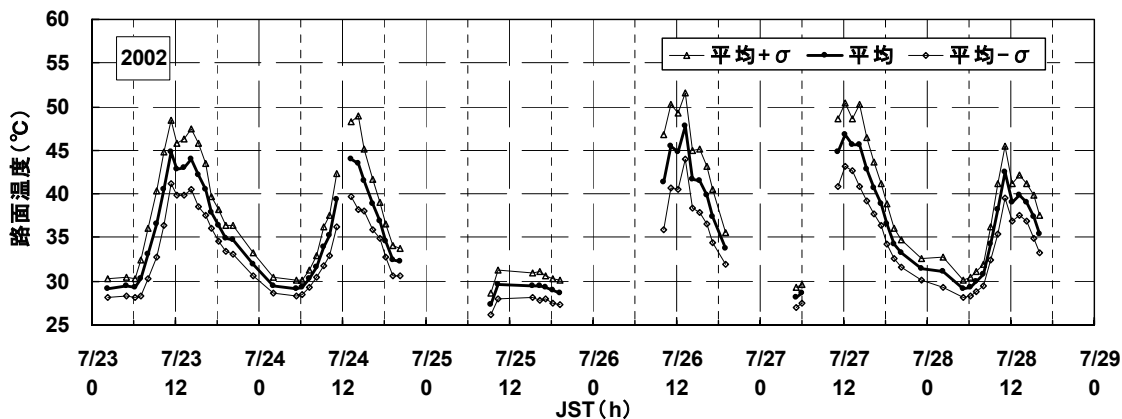


図5 路面温度の平均値と変動幅

強い放射冷却が起こった時間帯は大きな温度差が生じている。図6は、このようなクールアイランド強度の日変化をまとめたもので、最高気温時には約 2.5°C程度、御苑の方が低温となっている。

図7は、市街地気温の変動幅を表す標準偏差 (σ) の日変化をまとめたものである。街路内気温の空間的なばらつきは日中に大きくなる傾向が認められ、最高気温時には平均で $\pm 0.7^\circ\text{C}$ 程度、最高では $\pm 1^\circ\text{C}$ の大きさとなっ

ている。図4からも分かるように、この空間的な変動の幅は、クールアイランド強度の評価では無視できない大きさであり、評価基準温度としての市街地気温をどのように定義するかで、緑地効果の評価が大きく変化することを意味している。なお、図7の午前2時に注目すると、クールアイランド強度が大きかった7月23日には、気温の変動も大きくなっている。これは、別報(成田ほか2001)ですでに報告しているように、このような条件下

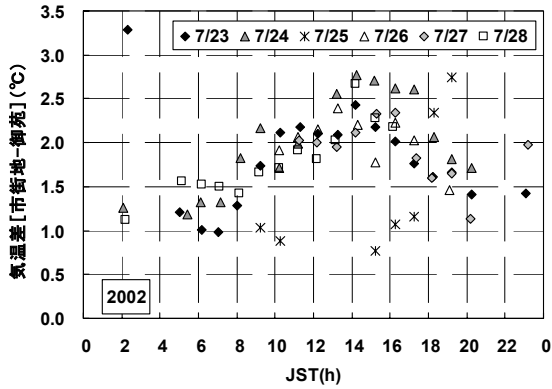


図6 御苑のクールアイランド強度の日変化

では冷気の「にじみ出し現象」が生じており、観測ルートが周辺市街地に「にじみ出した」冷気の範囲（御苑内とほぼ同温）を度々通過していることに起因している。

図8は、路面温度の空間的な変動幅と日射量の関係を考察した結果である。路面温度の変化は、日影によって生じているものであるため、その大きさはほぼ日射量に比例している。

移動観測による市街地気温と路面温度の変動の大きさの変化をまとめたものが図9で、ここでは比較の意味で御苑内の定点における同時間の気温の（時間）変動を併せて示した。気温については、御苑定点の変動幅をバックグラウンドの変動分と仮定すれば、市街地気温のそれを上回る変動が、空間的な変動分と解釈できる。路面温

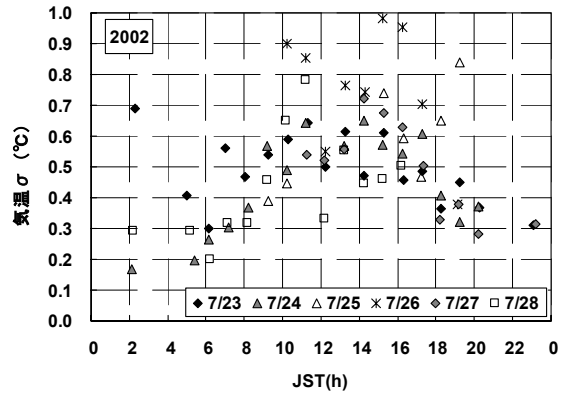


図7 市街地気温の変動幅の日変化

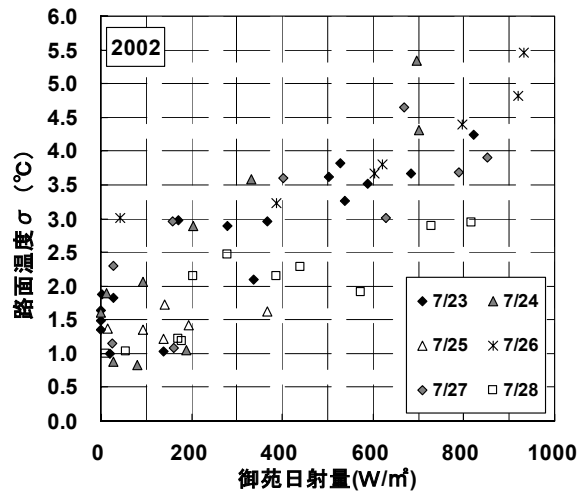


図8 路面温度の変動幅と日射量の関係

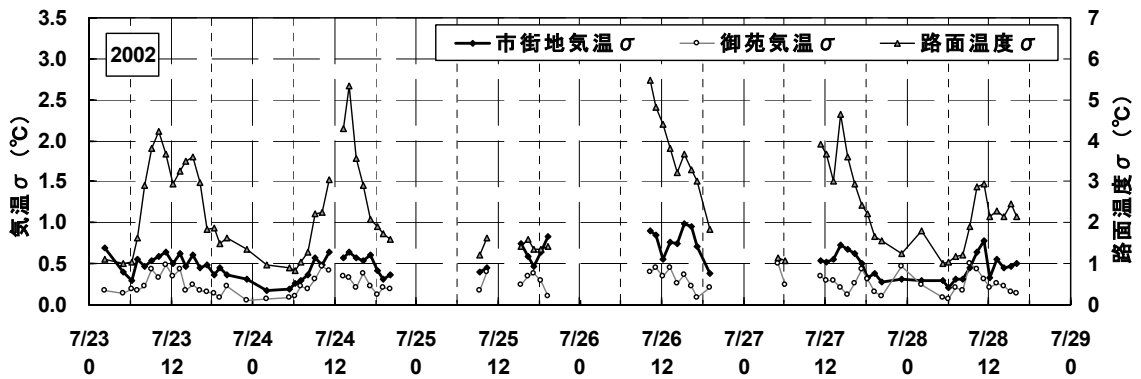


図9 移動観測における市街地気温および路面温度の空間変動と御苑における気温の時間変動

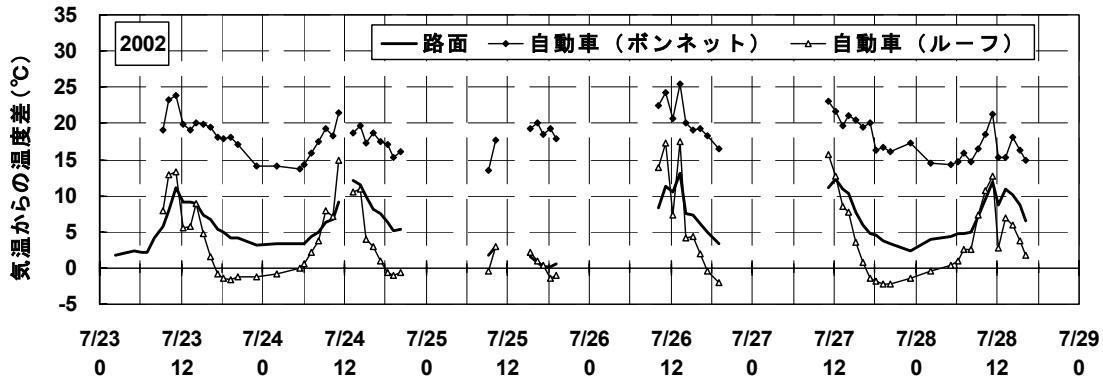


図10 自動車の表面温度と路面温度の比較（気温からの差）

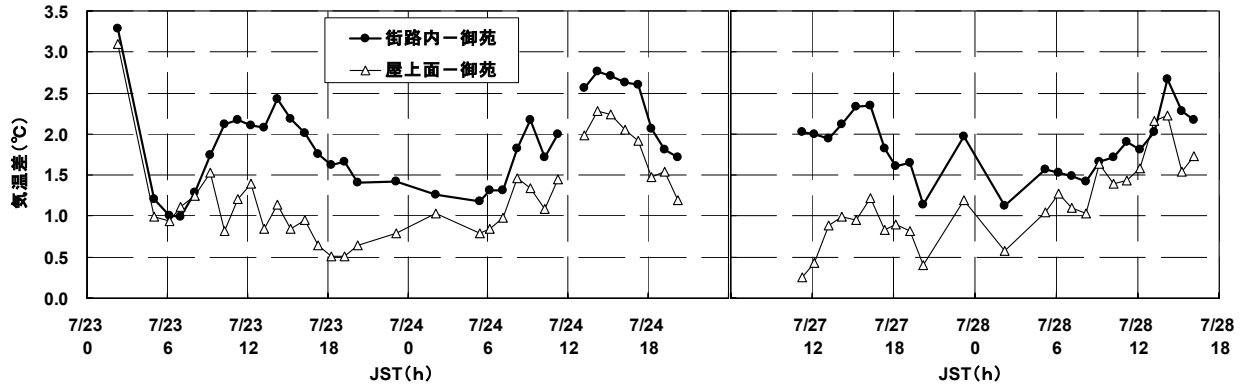


図 11 街路内気温と屋上面気温の比較

度の変動は、日中、標準偏差で±5°C程度を上回る大きさとなっている。

以上のような路面温度の変動の他に、気温の空間分布を生じさせている原因として、自動車の車体からの顕熱と排気ガスからの人工排熱が考えられる。図 10 は、自動車（色：ダークグリーン）の表面温度を路面温度と比較した結果で、顕熱フラックスを念頭に、気温との差で表示した。エンジン直上のボンネットの表面温度は、路面温度よりもかなり高く、ピーク時には 60°C を超える。また、夜間や曇りでも、路面温度のように温度が低下しない。そのため、深夜でも気温より約 15°C も高温な面を形成しており、夜間の街路熱環境に大きく寄与していると思われる。一方、同じ車のルーフ面の温度は、日中は路面温度より高温となるが、路面に比べ熱容量が小さいことを反映して、夕方の早い時間で温度が低下しており、日没時にはすでに気温との温度差がほぼなくなっている。自動車の熱環境への影響は、通常、人工排熱源としてのみ扱われる場合が多いが、交通量が多く車両が路面を占める割合が大きい条件下では、街路空間における表面温度分布を把握する意味でも、無視できない要素であることがわかる。なお、日中の車体温度は塗装色による差異が大きい。これに関しては、今後の課題である。

図 11 は、街路内気温と屋上面の気温を比較した結果である。街路内気温は、建物の影響を受けない屋上面の

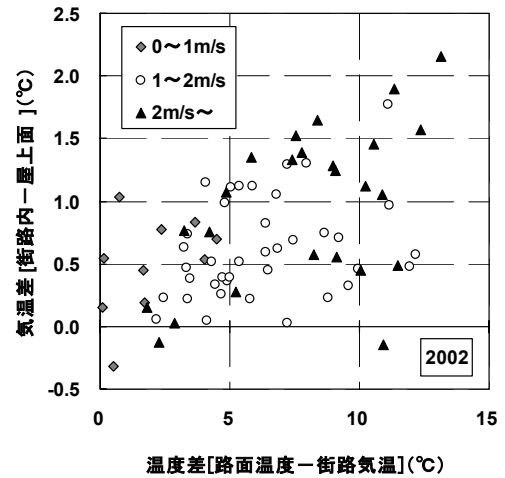


図 12 街路内と屋上面の気温差の変化要因

バックグラウンドの気温に対し、最大で 2°C 程度高温となっているが、その温度差は時間により大きく異なっている。図 12 は、この気温差の要因を検討した結果の一例で、路面温度と気温との温度差に対して、風速ランク別にプロットしたものである。街路内外の気温差は、路面と街路気温との温度差（路面からの顕熱フラックスに対応）が大きくなるに従い増大する傾向が認められるが、それだけでは必ずしも説明できない。また、街路内外の気温差は街路空間の換気効率にも依存すると考えられるが、風速による違いも明確ではなかった。

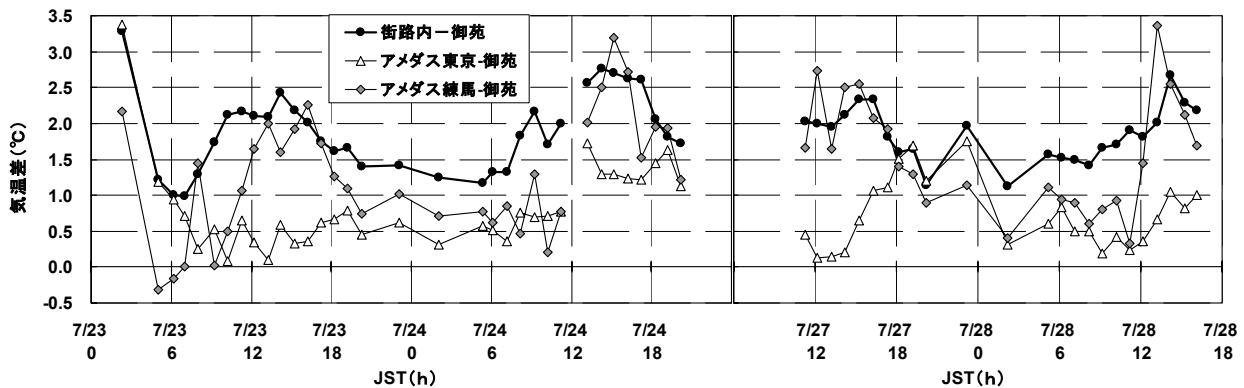


図 13 自動車移動観測による市街地平均気温とアメダスデータの比較

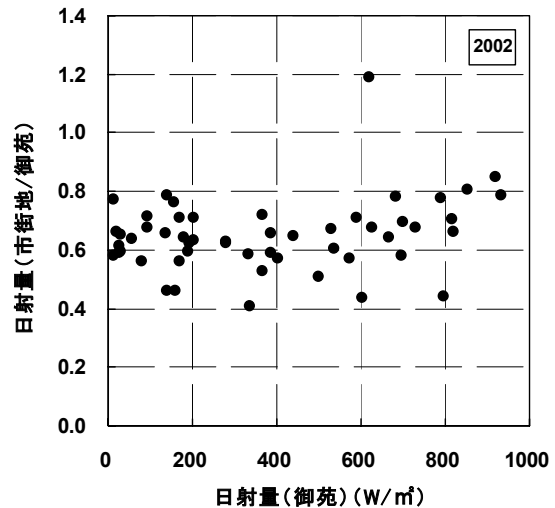
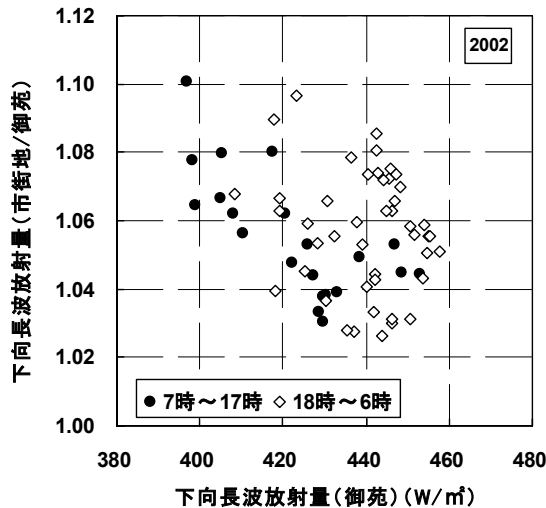


図 14 御苑に対する市街地街路内の放射量の変化比（左：長波放射量、右：日射量）

図 13 は、移動観測気温とアメダスデータを比較した結果である。東京（大手町：新宿御苑からの距離 5km）と練馬（約 8km）について比較した。全体としては練馬との対応関係の方が相対的に良い。大手町とは、時間帯によっては 2°C以上の温度差があった。これは日中のクールアイランド強度と同程度の温度差であり、この程度はなれた地点を基準温度として緑地のクールアイランド強度の評価を行うのは、かなり難しいといえる。

4. 放射量の実測結果

次に、街路内の気温分布の一要因である、街路空間における放射量について述べる。図 14 は、街路空間における長波放射と日射量について、御苑中央芝生広場の値との平均値の比をプロットした結果である。日射量の比は、概ね 0.6~0.7 程度の値で一定しており、日射量の大小による影響は小さいといえる。一方、長波放射に関しては、建物によって天空の一部が覆われる影響で増大するが、その大きさは 2~10%の範囲である。増加率は、よく晴れてバックグラウンドの放射量が小さい場合に大きくなる傾向が見られる。図 15 は、長波放射について、温度と同様に標準偏差 (σ) を算出し、御苑内定点における時間変動との比を考察した結果である。長波放射の空間変動は場所による天空率の違いに起因しており、建物面と天空との温度差が大きくなる晴天時、すなわちバックグラウンドの放射量が小さくなる条件で空間変動が大きくなっている。

5. まとめ

自動車移動観測による、市街地街路空間の気温の変化について考察した。最大 3°C程度のクールアイランド強度に対して、市街地気温の空間変動は 1°Cにも達する。この気温変動の原因となる路面温度、日射量、長波放射

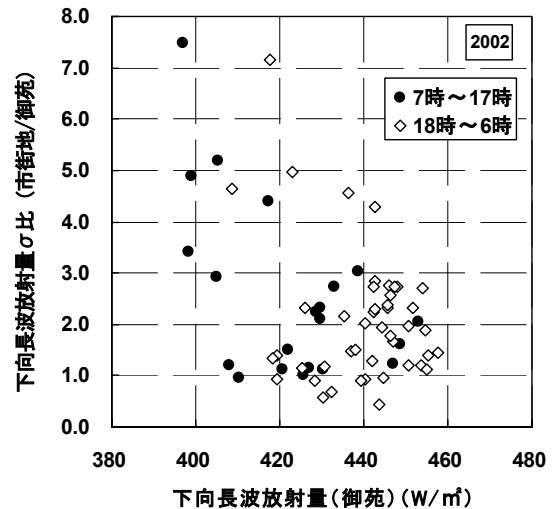


図 15 市街地街路内の長波放射量の変動幅

量についても変動量を明らかにした。また、街路内気温と屋上面気温、ならびに近接するアメダス気温との温度差についても検討を加え、これらのデータを市街地代表気温とみなした場合の差異についても考察した。

補注

- (株) ウェザーラインが行っているルーチン観測データ。
- ルート密度に偏りがあること、移動速度が一定でない、という 2つの理由から、本研究の平均値は、厳密な意味では空間平均とはなっていない。 σ についても同様である。

参考文献

近藤裕昭ほか(1998) 1次元キャノピーモデルによる都市の熱環境に関する研究. 大気環境学会誌, 33-3, 179-198
 吉田伸治ほか(2000) 対流・放射・湿気輸送を連成した屋外環境解析に基づく緑化の効果の分析. 日本建築学会計画系論文集, 529, 77-84
 成田健一ほか(2001) 新宿御苑におけるクールアイランド現象の実測. 日本建築学会大会学術講演梗概集(環境 I), 731-732
 佐橋 謙(1983) 自動車による気温の移動観測における観測誤差. 天気, 30, 509-514