

湖岸の都市熱環境の観測とキャノピー内外の熱境界層について

Observations of Sub-Urban Area near Lake and Its Thermal Boundary Layer

藤野毅*・浅枝隆**・井下雅博***・坪松学****・桐原博人*****・田中博春*****

by Takeshi FUJINO, Takashi ASAEDA, Masahiro INOSHITA, Manabu TSUBOMATSU,
Hirohito KIRIHARA and Hiroharu TANAKA

ABSTRACT; Field observations in a dense residential area near lake Biwa lasted over 3 days in summer. The measurements were carried out for air temperature; relative humidity; wind vector; solar and atmospheric radiation; roof temperature; and road temperature. Also, vertical air temperature and relative humidity profiles up to 60m were continuously measured at the center of city. Roof temperature reached a maximum value more than the road, and roof was the main factor to form diurnal sub-urban boundary layer, since the total roof area covered about 50 percent of the site. Lake-land breeze were clearly appeared during the observations. However, heat mitigation effect by lake breeze were not cleared. Urban Canopy blocks advection effects from the lake, and maintains high temperature due to a large quantity of sensible heat flux from the surface.

key words : Heat Island, Urban Canopy, Heat Balance, Local Wind

1. はじめに

都市のヒートアイランド現象の成因は道路からの顕熱輸送や人工排熱の効果が主要であることが示されている¹⁾。都市と郊外の温度差を指標とするいわゆるヒートアイランド強度は、都市の規模が大きくなるほど、あるいは熱供給量の差が大きくなるほど強くなるものと考えられる。しかしながら、小規模の市街地でもヒートアイランド強度が4℃程度にもなる例もあり、都市では個々の熱源に加えて、気温を下げない何らかの要素があると推測されよう。それには、キャノピー内の放射や、キャノピー内外の乱れといった、建物そのものによる影響についてその特性を把握し、定量的に評価する必要がある^{2~4)}。こうした背景のもとで、本研究は規模の小さい住宅街を対象に気象観測を行い、都市のバックグラウンドの影響や都市キャノピー内外の放熱・蓄熱特性について調べ、考察した。

* 正会員 学博 埼玉大学助手 理工学研究科 環境制御工学専攻

** 正会員 工博 埼玉大学助教授 理工学研究科 環境制御工学専攻

(〒338 浦和市下大久保 255)

*** 学生員 日本大学大学院 生産工学研究科 土木工学専攻

**** 正会員 日本大学専任講師 生産工学部 土木工学科

(〒275 習志野市泉町 1-2-1)

***** 工修・教修 東京都立大学大学院 理学研究科 地理学専攻

***** 理修 東京都立大学大学院 理学研究科 地理学専攻

(〒192-03 八王子多摩市南大沢 1-1)

2. 気象観測

気象観測は、96年7月27日から29日まで、滋賀県長浜市を対象に行なった(図-1)。市街地は瓦屋根の2階建ての一般住宅(高さ7m)が大部分を占めており、周囲はほとんど水田である。観測期間中はどの日も快晴であった(図-2)。計測は、まず、温度計を市街地の端から端までの約3kmにわたって約300mごとに、琵琶湖岸と垂直方向に位置する県道上に高さが1.5mになるように計13地点設置した。さらに、琵琶湖から内陸の約1kmの位置にあるNTTの鉄塔(全高さ80m)に高さ方向に6点設置した。次に、風向風速計を琵琶湖岸において2高度(3m, 5m)、市役所・消防署屋上・NTTの鉄塔において各1高度(16m, 18m, 58m)で設置した。他には、日射計、大気放射計、サーモグラフィ(NEC三栄およびAVIO TVS-2000LW)を市役所屋上に設置し、熱伝対センサーを屋根とアスファルト道路に設置し表面温度を測定した。これらは全て連続計測した。ここで、車の交通量は対象とした県道では昼間信号待ちで列を作るほかは渋滞がなく、夜間9時以降では1分当たりに10台以下であった。

3. 結果と考察

3-1 地上気温と風ベクトル

図-3(a)-(c)、及び図-4(a)-(c)に、それぞれ地上気温と風速の日変化を示す。これより、陸地の気温は一日中市街地の中心に位置するP-4で最も高い傾向にあり、最大35℃以上を記録した。このとき、昼間の琵琶湖の水温は湖心北側と長浜港でそれぞれ30℃以上あったが、道路の50数℃(後述)と比べて低く、琵琶湖岸(Lake-1)の気温は最高33℃程度であった。しかし、そこからわずか300m内陸に入った地点Lake-2ではすでに1.5℃以上も上昇している。Lake-2の気温変化は他の内陸部の観測地点と同様な変動を示しており、この区間で水域と陸域の気候が分断されていると考えられる。一方、深夜0時から明け方までは琵琶湖岸の気温が最も高かった。このとき琵琶湖の水温は約28℃あり、陸地のどの地表面よりも高かったこと(後述)が影響していると考えられる。

ここで、どの日においても夕刻に急激な気温低下が生じていたことがわかる。この時の風ベクトルを見ると、27日では湖風から山風に転じた直後、28日では強い湖よりの風が進入した時と山風に転じた直後、29日では10分間の平均風速が5 m/s以上のかなり強い湖よりの風が進入した時に生じている。それぞれ、気温の急激な低下は移流によるものと推測できるが、異なったメカニズムで生じていることが推測される。この湖よりの強い風は、若狭湾からの海風が発達したものとする説もあり⁵⁾、確かに海風の速度を考えると夕刻にこの地点にたどり着いても不思議ではない。しかしながら、この時刻での海風の温度は通常すでに暖められているはずであり、これには山を越えてきたことによる冷却が伴ったものとも考えられる。この風がどこの局地風であるかはいまだ不明であるが、ここで共通して言えるのは、湖風はすでに10時前には生じており、市街地が湖に隣接しているにもかかわらず、この風が都市の気温を下げる効果が極めて小さいことである。昼間は陸地よりも湖の気温が低く、湖から風が吹くため、内陸に行くほど移動する空気塊が暖められ気温は上昇していくが、この場合では昼間も湖よりの市街地の気温のほうが内陸よりも高いことから、相対的に都市の影響が大きいといえる。

3-2 道路・屋根面温度と熱収支

図-5(a), (b)にサーモグラフィで得られた東西南北各方面に向けた地表面温度の日変化を示す。これらは同じ瓦でも色、古さ、材質、室温などの違いから温度特性について厳密な評価はできないが、向きの違いによる温度変化の時間のずれの傾向は出ている。すなわち、東向きの屋根は温度上昇とそのピークが西向きの屋根よりも早いことなどがわかる。ここで、どの面においても日中は

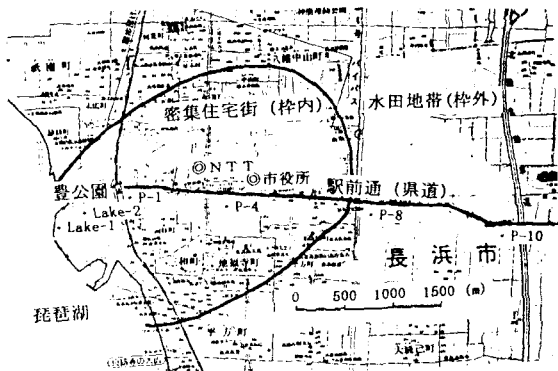


図-1 観測地概要

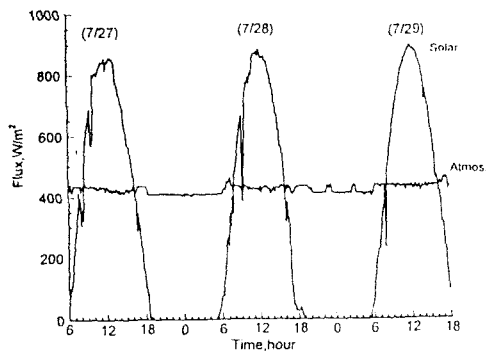
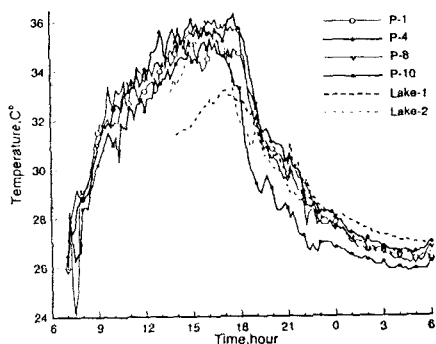
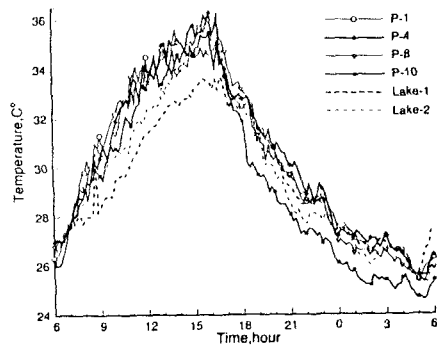


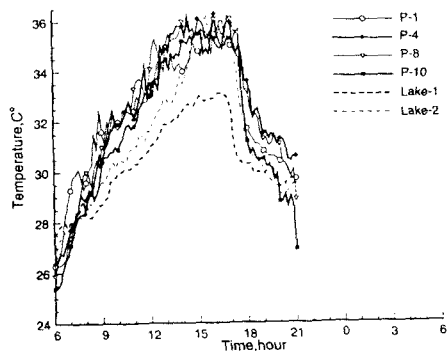
図-2 日射と大気放射



(a) 7月27日

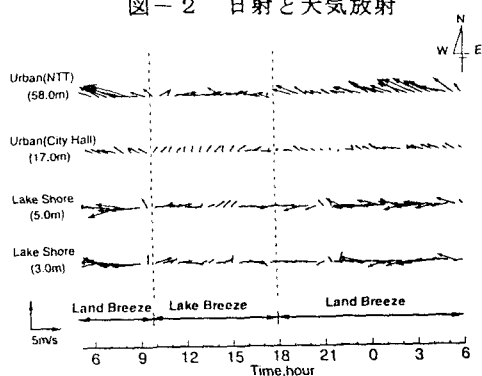


(b) 7月28日

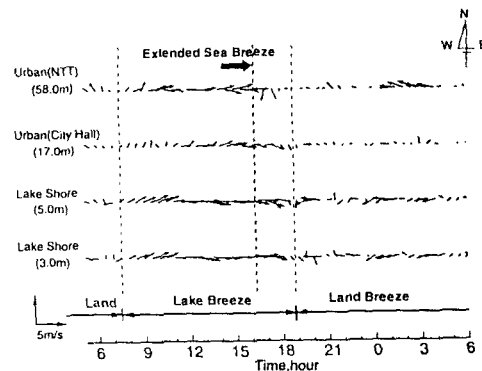


(c) 7月29日

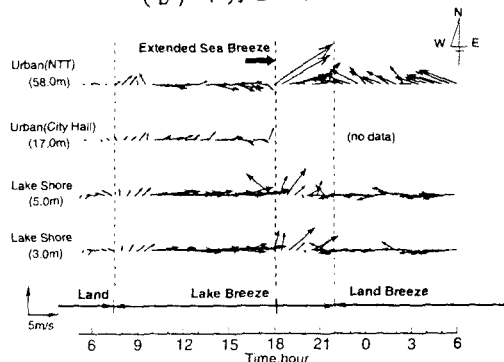
図-3 地上気温の日変化



(a) 7月27日



(b) 7月28日



(c) 7月29日

図-4 風ベクトルの日変化

55℃前後まで上昇し、極めて高温になることがわかる。

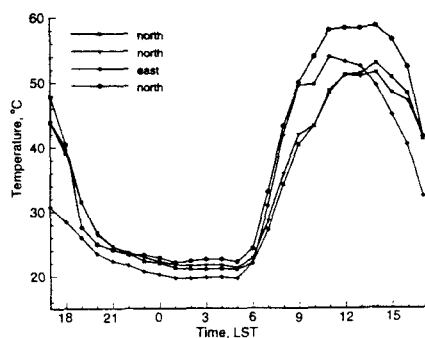
図-6 (a), (b)に、それぞれアスファルト道路と先の平均化した瓦屋根の熱収支を示す。ここで、顕熱輸送量はLouis(1979)の式により算出し、潜熱輸送は表面が十分乾いていたため生じないと仮定した。これより、昼間の瓦屋根の顕熱輸送量はアスファルト屋根面とともに $250\text{W}/\text{m}^2$ から $300\text{W}/\text{m}^2$ 程度と見積もられた。ここで、アスファルトはよく晴れた夏季の標準的な値であり、それが瓦屋根面についても同規模であることから、この顕熱輸送が昼間の都市のヒートアイランドに寄与することになる。ここで、市街地のアスファルト道路の占める割合は10%台であるのに対し、瓦屋根面は50%程度にもなる。従って、昼間の熱環境を形成する要因として、瓦屋根は最も大きな熱源である。しかしながら、夜間ではアスファルトの表面温度が気温より高いままであるのに対し、瓦屋根の表面温度は気温よりも低い。そのため夜の顕熱輸送が生じ、瓦屋根は夜間のヒートアイランド現象には寄与せず、逆に熱のシンクの役割を果たすことになる。

3-3 市街地上空の気温の鉛直プロファイル

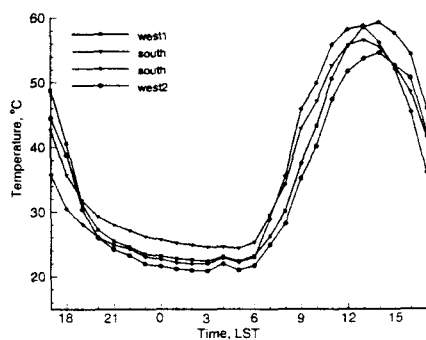
図-7 (a)-(c)は、NTT鉄塔に取り付けられた気温の鉛直プロファイルである。これより、どの日においても日中では屋根面レベルより上の13 mから25 mにおいて急激な気温の下降が生じていることがわかる。ここで、高さ13 mの温度計はNTTの屋上の端に設置されたものであり、屋上面からは1.5 mの高さにある。市役所の屋上にも同様に温度計を設置したが、気温の日変化はNTTの屋上での値とほとんど同じであった。高さ13 mでの気温と地上気温との間には温度勾配が小さく、この地点に最も近いP-4の値と約0.5℃以内の差しか生じていなかった。このレベルでの気温は中立状態であることがわかった。一方夜間では、上空58 mまでほぼ様な分布となり全層で中立状態が形成されている。地上の気温もほとんど同じである。

この夜間の中立層について、先のアスファルト道路と瓦屋根面の地表温度の測定結果より評価すると、アスファルト道路からのわずかな顕熱だけが効いていることがまず考えられる。しかしながら、先述のようにアスファルト道路の占める割合は全体として小さく、しかも面積比でみると瓦屋根面の効果が卓越し、全体として安定層になるべきである。ここで、表-1に放射温度計によって手動で計測された日中と明け方の植生(水田・ヨモギ等草地)の表面温度を示す。これより植生の表面温度は気温より常に低いことがわかる。さらに、夜間の風は完全な山風になっている。夕刻の気温の急激な低下が見られたことでわかるように、これは伊吹山あたりからの冷気流と予測されよう。その時の気温と比較しても地表面温度がより低いことは、少なくとも内陸の地点P-10, P-8あたりでは完全な安定層が形成されているものと考えられる。それにもかかわらず、市街地の屋根面上で1℃以上も気温の高い完全な中立になっているということは、最終的には都市域からの顕熱の影響ではなく、建物の空気力学的抵抗による大気の流れが最も卓越したものと考えられる。

次に、日中の気温プロファイルについては簡単な2つのケースを想定した解析によって考察した。1つは全住宅キャノピーを想定した場合、もう1つは湖-住宅-水田と、観測と同じような土地利用で湖から風を吹かせた場合である。計算手法は藤野(1996b)とほぼ同じである。計算は3次元で行ったが、主流と鉛直方向の土地利用に変化はない。図-8 (a), (b)に、日中15時の気温・風ベクトルの分布を示す。これより、湖のある住宅キャノピー内では、湖と陸地との間に大きな気温勾配が生じている。さらに、冷気移流によって内部境界層が現れるが、風下2 km 辺りの地点でほぼキャノピーからの熱が卓越した分布になる。一方、キャノピー上空では、全キャノピー層の場合の結果と比較して気温低下が大きく、風下2 km 辺りの地点でも湖からの冷気移流の影響が大きいと考えられる。このような分布は観測で得られたものと同様であり、日中ではキャノピー自身が湖からの移流効果を少なくし、さらに自身表面からの顕熱が卓越し、その熱を逃がしにくくさせているために高温になると考えられる。

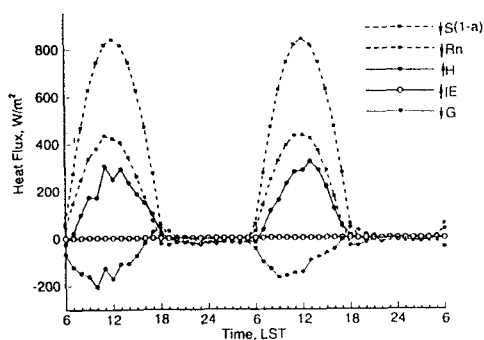


(a) 北・東面

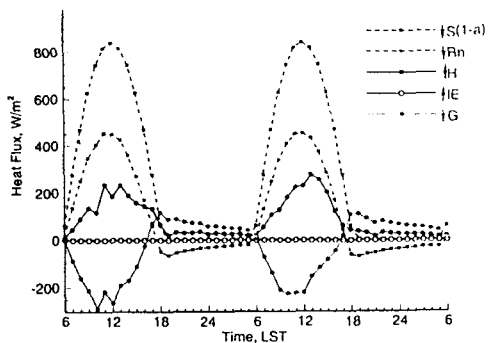


(b) 南・西面

図一5 屋根面温度の日変化

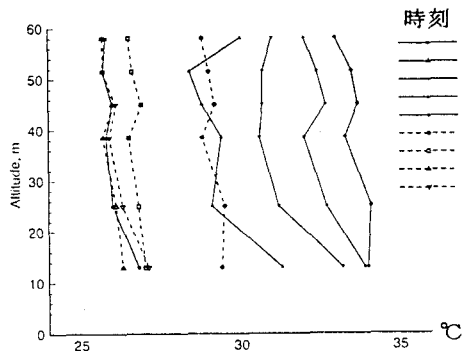


(a) アスファルト道路面

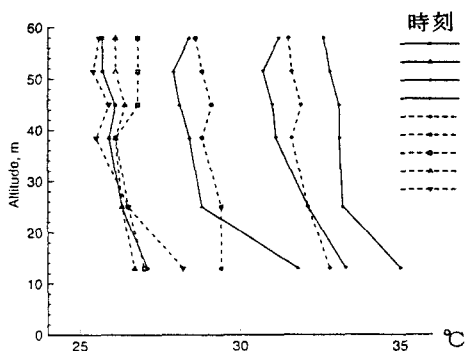


(b) 屋根面

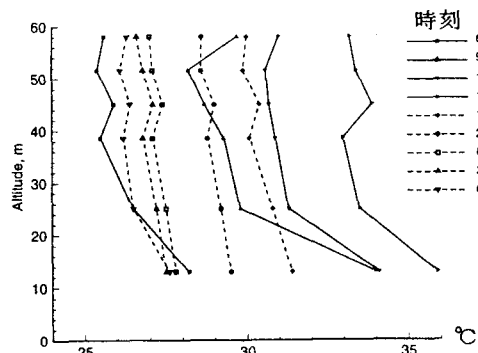
図一6 道路面及び屋根面の熱収支の日変化



(a) 7月27日



(b) 7月28日

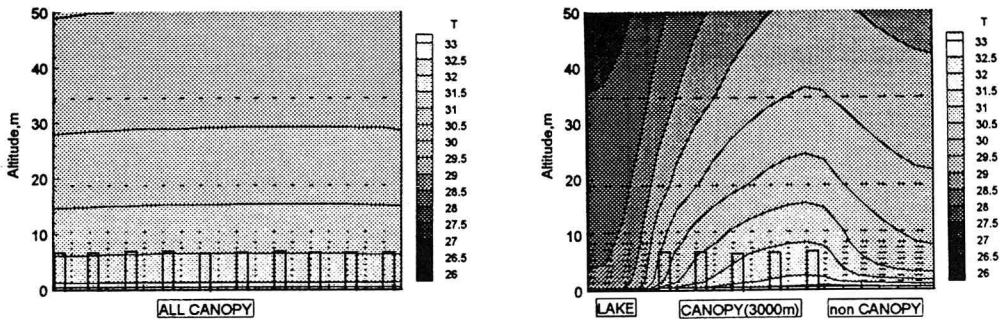


(c) 7月29日

図一7 鉛直気温の日変化

表一1 植生の地表温度 (7月29日)

時刻	6:05	9:10	12:15	15:00
植生 1	23.3	29.5	34.2	29.1
植生 2	23.0	29.4	28.9	29.5
植生 3	23.3	28.9	28.7	29.1
水田 1	23.3	27.8	27.3	25.8
水田 2	23.0	28.4	27.1	26.3
水田 3	23.0	28.3	27.0	26.3
水田 4		26.5	27.6	
水田 5		27.8	28.3	



(a) 全住宅キャノピー層の場合

(b) 湖－住宅キャノピー－水田の場合

図－8 住宅キャノピー層内外の気温・風の鉛直断面図

4. 結論

湖岸位置する都市の熱環境について3日間連続の気象観測を行った。諸項目はどれもきちんと計測されたが、その結果は湖陸風やそれを上回る大規模な局地風の影響と複雑な都市地表面温度とその形状による影響とが複合した形で現れた。これらについて個々の気温に及ぼす影響だけを評価することは難しいが、日中と夜間でのヒートアイランドの形成メカニズムについて解明し、それぞれ異なるものであることが示された。

謝辞

本研究は、琵琶湖プロジェクト96によって行われた。観測およびデータ整理にあたっては、東京都立大学理学部三上研究室のお世話になった。NTT鉄塔における観測は、NTT彦根支店の塩見一昭総務課長はじめ小中由文・榎田和夫両氏に便宜を図って頂いた。市役所屋上および豊公園における観測は、長浜市総務部の藤居係長に便宜を図って頂いた。サーモグラフィによる計測は長浜市民の杉田弘夫さんに便宜を図って頂いた。NEC三栄のサーモグラフィは東京工業大学渡邊眞紀子先生より借用させて頂いた。消防署における気象データは小林善之消防長より頂いた。琵琶湖の水温等気象データは滋賀県衛生環境センターより頂いた。以上、観測に多大な協力をして頂いたみなさんに感謝いたします。

参考文献

- 1) 藤野毅・浅枝隆・和氣亜紀夫(1996a)：夏季の都心部周辺における気温分布特性に関する数値実験，地理学評論，69，pp.793-816.
- 2) 藤野毅・浅枝隆・中北英一(1996b)：市街地スケール都市気象モデルによる風・熱環境評価の検討，水工学論文集，40，pp.231-236.
- 3) 井下雅博・坪松学・田中博春・藤野毅・浅枝隆(1996)：熱赤外サーモグラフィによる瓦屋根面温度測定と顕熱フラックスの算定，日本リモートセンシング学会第21回学術講演会論文集，pp.185-186.
- 4) Vu Thanh Ca・浅枝隆・柴原千浩・藤野毅・中村考一・村上雅博(1994)：ストリートキャニオン内の壁・道路の温度分布，水工学論文集，38，pp.413-418.
- 5) 枝川尚資(1992)：琵琶湖北部流域における夕刻の局地風について，地理学評論，65，pp.735-746.