夏季の長浜市における都市キャノピー層内の気温観測

Observations of Air Temperature in the Urban Canopy Layer in Nagahama-city

桐原 博人*、藤野 毅**、三上 岳彦*

Hirohito KIRIHARA *, Takeshi FUJINO **, Takehiko MIKAMI *

ABSTRACT: The observation was carried out in Nagahama-city, Shiga-prefecture for two days in the end of July, 1996. Starting from the shore of a lake, in the section of about 3800 m to an edge of urban district, we set a self-registering thermometer at nine points along the prefectural road that was vertical to the shore of a lake, and air temperatures were continuously measured in the urban canopy layer. Also, we set six self-registering thermometers in the tower of NTT at the center of city and vertical air temperatures were continuously measured in the lower urban boundary layer. Anemometers were set on the tower of NTT, Nagahama City Hall and the park in the shore of a lake. Amounts of global solar radiation and atmospheric radiation were measured at Nagahama City Hall. During observation period, weather was almost clear. From cross-sectional figures of air temperature, heat island was formed in the center of Nagahama-city. The daily maximum temperature became about 16:00 J.S.T. from diurnal variations of air temperature in Nagahama-city. Lake breeze blew from about 9:00 J.S.T. to about 17:00 J.S.T., and air temperature in the urban canopy layer was calm, but it was mitigated by lake breeze.

KEYWORDS: heat island, lake-land breeze, urban canopy layer, heat environment

1. はじめに

滋賀県長浜市は、琵琶湖の北東部に位置する湖岸に面した小規模都市である。長浜市の周囲は、伊吹山をはじめとする海拔 600 m を越すいくつかの山脈に囲まれた複雑な地形をなしている。琵琶湖周辺域では臨海域の海陸風と同じように一般風の弱い日には、湖陸風の吹く環境にある。都市のヒートアイランドに対する海陸風の影響に関する研究は、これまで多く報告されているが（たとえば藤野ら, 1993 ; 藤野ら, 1996b ; 高木・北田, 1996）、湖陸風のような海陸風よりもさらに弱い局地風系を形成する水面の熱環境が都市のヒートアイランドに及ぼす研究は、あまりなされていない。琵琶湖プロジェクトの一環として藤野ら(1996a)は“風の通り道”として市街地スケールの数値モデルから長浜市内のストリートキャニオンについて、その熱環境評価を試みている。また藤野ら(1997)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層内外の放熱・蓄熱特性について調べている。

本研究では住環境に密接した都市キャノピー層に注目して、湖風が都市キャノピー層内の気温の成立にどのような影響を及ぼしているのか、キャノピー層内の気温断面を詳細に調べることで考察した。

* 東京都立大学理学部地理学科 Department of Geography, Faculty of Science, Tokyo Metropolitan University

** 埼玉大学大学院理工学研究科 Graduate School of Science and Engineering, Saitama University

2. 気象観測

気象観測は、滋賀県長浜市で 1996 年 7 月 27 日から 29 日にかけて行った。観測期間中は一般風の弱い、ほぼ快晴に近い天候であった。図 1 に観測対象地域を示す。市街地は瓦屋根の 2 階建ての家屋（高さ約 7 m）が大部分を占めており、都市キャノピーを形成している。自記温度計は湖岸を P1 として豊公園内に P2、長浜駅を越えて湖岸に垂直な県道（駅前通り）に沿って都市キャノピー層内の P3、以下、順番に市街地の端 P9 まで、距離約 3790 m 間に地上 1.2 m の高さに 9 点設置して気温の連続測定を行った。それぞれの観測地点間の距離を表 1 に示す。家屋の密集地帯は、長浜駅から東に約 1500 m 四方にあり、その中心部に NTT の鉄塔がある。P4 は NTT の鉄塔に最も近い場所にある。P6 から P8 地点までは県道に沿って住宅が存在し、その周囲は、ほとんどが水田である。P9 の周辺は水田になっていて、ここで都市が終わっている。また自記温度計を湖岸から約 1140 m の距離にある NTT の鉄塔に鉛直方向に 6 点設置した（図 2）。

風向風速計は豊公園の湖岸寄りに 2 高度（3.0 m と 5.0 m）、長浜市役所の屋上（17.0 m）、および NTT の鉄塔（58.0 m）に設置して連続測定を行った。他に全天日射計、大気放射計を長浜市役所屋上に設置して、それぞれ放射量を連続測定した。

表 1 観測地点間の距離

区 間	距離 (m)
P1-P2	390
P2-P3	480
P3-P4	260
P4-P5	290
P5-P6	410
P6-P7	290
P7-P8	790
P8-P9	880

図 1 観測対象地域

3. 結果および考察

3. 1 風ベクトル

図 3 は、豊公園の湖岸寄りに 2 高度（3.0 m と 5.0 m）、長浜市役所の屋上（17.0 m）、および NTT の鉄塔（58.0 m）に設置した風向風速のベクトル図である。28 日は、どの高度でも似たような風系をなし、8 時頃より吹き始めた湖風が 18 時頃まで続き、それ以降は陸風が変わっていく様子がわかる。29 日は、湖陸風の吹く基本的な風系場に違いはないが、18 時の夕風状態のときに、南西から西南西方向のかなり強い風が瞬間的に入ってきている。これは、藤野・浅枝（1998）の解析では、大阪湾からの大規模な海風であると推察している。

3. 2 都市キャノピー層内の気温

全ての観測データは、7 月 29 日から 30 日を使用した。自記温度計のセンサー部分はアルミニウム製の日射よけを付けてファンで強制通風した。観測期間中の県道での車の交通量は、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 10 台以下であった。

図 4 および図 5 は都市キャノピー層内の気温の日変化を示す。データは、現象を見やすくするために 1 時間ごとに、その時刻の 10 分間の平均気温をプロットし、データ間はスプライン関数で補間した。図中の琵琶湖

琵琶湖の水温（Lake water）は、滋賀県衛生環境センターの1時間ごとのデータを用いている。日によって多少の違いはあるが、28日では水温は0時から7時頃まで約28℃で、ほぼ一定か、わずかに減少傾向にあり、それ以降15時頃まで緩やかに上昇した後、約29℃で、ほぼ一定になっている。29日は前日の影響で約1℃高く、7時頃まで約29℃であった。その後は28日と同様な傾向で15時に約30℃に達し、一定になっている。

気温は28日、29日の両日ともP1からP9の各地点は5時頃より上昇を始め、16時頃に日最高気温に達した。5時から16時の時間帯に限定すれば、28日は湖水に最も近いP1で5時に約27℃であった気温が、16時に約33℃に達した。この温度の風が都市キャノピー層に向かって吹いてくるが、豊公園内のP2付近で昇温するため、実質的にキャノピー層内に入ってくる風はP2の温度の風である。P2の気温がP1に近ければ近いほどキャノピー層を冷却する作用が強いと考えられるので、図4よりその時間帯を調べると8時から14時の6時間であることがわかった。この時間帯はP8よりも都市の中心部であるP4の方が気温が低く、水田地帯のP9とほぼ同じ温度で推移している。この現象はP4付近まで湖風の冷却作用が及ぶが、それ以降は次第に冷却効果が弱くなり、P8付近では、ほとんど冷却効果がないことを示していると考えられる。また図3からこの時間帯は湖風の最も強い時間帯になっている。29日も、ほとんど同様な傾向を示していた。

図6および図7は、湖風時のP1からP9地点の1時間ごとの9時から16時までの気温の断面を示す。28日、29日とも9時から16時の時間帯にP3からP6地点にかけてヒートアイランドが形成されている様子がわかる。11時頃、湖風による冷却作用が最も強く、28日はP5付近に約33.1℃のヒートアイランドのピークが存在しているにもかかわらず、P8の33.7℃に比べ約0.6℃も低い。29日の11時は、ヒートアイランドの中心がP8付近にまで移動して、もはや都市の中心部にはヒートアイランドが存在していない。都市の中心部はP4付近であり、ヒートアイランドのピークもこの付近に出現してもよさそうである。類推として、海陸風の存在する都市域が、海風によってヒートアイランドの中心が内陸部に移動するのと同様なメカニズムで、長浜市のヒートアイランドの中心も湖風により風下側にずれている可能性が想定される。

図8および図9は、P1からP9各地点の気温と都市の終点であるP9の気温との差をそれぞれ9時から2時間ごとに15時まで求めたものである。図6および図7に比べ、より一層P5付近のヒートアイランドの存在が明確になっている。28日の9時および11時は、湖風により都市キャノピー層が冷却されて、相対的にP8の温度が上がっているように見える。13時は湖風の冷却作用が弱くなり、P5からP8地点までほとんど差がなくなっている。15時になると湖風の冷却作用も衰えて、都市キャノピー層外のP2の気温も高くなり、都市部のP5付近にヒートアイランドが顕著に出現している。29日は9時に湖風の影響でP6付近にヒートアイランドの中心が存在し、11時にはヒートアイランドの中心がP8に移動している以外、28日の傾向と、ほとんど同じであった。

3. 3 都市境界層内の気温

図10および図11は、NTTの鉄塔に地上からそれぞれ13.0 m、25.0 m、38.5 m、45.0 m、51.5 mおよび58.0 mの高度に自記温度計を設置して、気温の鉛直方向の日変化を表したものである。測定装置の管理は、都市キャノピー層内の測定と同様にした。28日、29日とも13.0 mの高度のプロファイルが他の高度と比べ、波形がかなり異なっている。これを都市キャノピー層内の気温のプロファイルと比較すると波形、位相ともほぼ同じであるので、13.0 mは都市キャノピー層内にあると考えられる。28日に限定して考察するならば、13.0 mの波形の三ツ山に着目して、それと同形の波形を持つ高度を詳細に観察すると25.0 m、38.0 m、45.0 mの3高度が見つかった。しかし、波形の振幅も位相も異なっており、特に位相のずれに着目すれば、大気鉛直成分のフラックスの関与が示唆できるが、あくまでこれは推測の域を出ない。都市境界層内の気温は高度によってそれほど大きな違いはなく、28日0時に約27℃であったが、5時には約26℃まで下がり、その後緩やかに上昇して16時に日最高気温に達した。16時以降は、緩やかに減少していた。高度13.0 mの気温

図2 自己温度計の設置場所 (NTT の鉄塔)

図3 風ベクトルの日変化

図4 都市キャノピー層内の気温の日変化 (1)

図5 都市キャノピー層内の気温の日変化 (2)

図6 キャノピー層内の気温の断面図 (1)

図7 キャノピー層内の気温の断面図 (2)

図8 各地点とP9の気温差(1)

図9 各地点とP9の気温差(2)

図10 都市境界層内の気温の日変化(1)

図11 都市境界層内の気温の日変化(2)

が、その他の高度に比べて、湖風の吹く時間帯にかなり高めである。NTT の鉄塔は、長浜市の中心部にあり、この付近の家屋の建蔽率は、35 %から 45 %にもなっている(井下, 1997)。このため湖風が都市キャノピー層内に進入しにくいのではないかと考えられるが、陸風時では、都市キャノピー層内と都市境界層内の気温に大きな違いが見られない。このことから陸風は、十分キャノピー層内にも進入していると考えられる。この現象の解釈として、藤野・浅枝(1998)は、数値シミュレーションによる局地風循環の流線解析から、湖風時には琵琶湖周辺に下降流が生じ、このため昇温が起きているとした。

3. 4 観測値とシミュレーションとの比較

近藤(1992)の簡略モデルを用いて、湖風が存在しない状態を再現して観測値と比較した。

$$T(t)=T_M+B_1\cos(\omega t-\alpha) \quad (1)$$

ここで $T(t)$:time=t における気温、 T_M :気温の日平均値、 B_1 :気温の振幅、 ω :日変化の角速度、 t :時間、 α :入力放射量との位相差である。

使用する条件は、観測値(P4 地点)から求めた。観測値は、10 分ごとの平均気温である。初期条件として、 t は図12から入力放射量が最大になる時刻を $t=0$ とした。図13は、その結果である。図13で7時より15時までシミュレーションの値の方が大きくなり、湖風時と対応している。夜間は湖水の熱容量が大きいため、観測値の方が約3.7℃高くなっている。

図 12 全日日射量および大気放射量

図 13 シミュレーションの結果

4. まとめ

- 1) P4 付近まで湖風の冷却作用が及ぶが、それ以降は次第に冷却効果が弱くなり、P8 付近では、ほとんど冷却効果がない。
- 2) 長浜市のヒートアイランドの中心は、湖風が存在しない時と比べて、湖風により風下側にずれている可能性が想定される。
- 3) 湖風時にシミュレーションと観測値の差が最も大きくなる時刻は、9時30分頃であり、その差は約1.8℃になった。湖風時平均して約0.7℃のキャノピー層の気温低下が予想されるが、湖風による冷却作用を考えるならば弱いと言える。日最高気温は、シミュレーションでは14時になるのに、観測値は16時頃に到達している。これは、湖風による気温上昇に対する抑制効果であると考えられる。

謝辞

本研究は琵琶湖プロジェクト'96によって行われた。田中博春氏（東京都立大学大学院博士課程）はじめ、観測に協力をして頂いた学生の皆様、そのほか観測に携わって頂いたすべての皆様に厚く御礼申し上げます。

《参考文献》

- 1) 藤野毅・浅枝隆・和氣亜紀夫・孟岩：埼玉県南部地方を対象にした郊外型ヒートアイランドの特徴，水工学論文集，**37**，pp.591-596，1993.
- 2) 藤野毅・浅枝隆・中北英一：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.231-236，1996a.
- 3) 藤野毅・浅枝隆・和氣亜紀夫：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-A10**，pp.817-831，1996b.
- 4) 藤野毅・浅枝隆・井下 雅博・坪松学・桐原博人・田中博春：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，水工学論文集，**41**，pp.349-354，1997.
- 5) 藤野毅・浅枝隆：盆地内対流が都市に与える熱的影響の解析，水門・水資源学会研究発表会要旨集，pp.104-105，1998.
- 6) 井下雅博：赤外線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算定，日本大学大学院生産工学研究科修士論文，pp.54-56，1997.
- 7) 近藤純正：地表面温度と熱収支の周期解及びその応用，農業気象，**48**(3)，265-275，1992.
- 8) 高木久之・北田敏廣：海風時に沿岸部の小丘により生成された乱流運動エネルギーの輸送特性とその下流部への影響—2次元 k-ε 乱流モデルによる解析—，天気，**43**，pp.289-302，1996.