

# 豊橋市内の中規模緑地におけるクールアイランド現象の調査と周辺市街地に対する冷却効果

Cool island phenomena and cooling effect of green area in Toyohashi City on the surrounding area

東海林孝幸\*<sup>1</sup>      高野啓太\*<sup>1</sup>      北田敏廣\*<sup>1</sup>  
Takayuki TOKAIRIN      Keita TAKANO      Toshihiro KITADA

\*<sup>1</sup> 豊橋技術科学大学エコロジー工学系 Department of Ecological Engineering, Toyohashi University of Technology

Corresponding author: Takayuki TOKAIRIN, tokairin@ens.tut.ac.jp

## ABSTRACT

Simultaneous observation of air temperatures was carried out inside and outside of the city park (Takashi Ryokuchi) in the central area of the Toyohashi city to estimate “cool island intensity” defined as temperature difference between the park and residential areas, and evaluate the effect of cold air advection or drainage from the city park. Observation period is Jul. 30 to Aug. 30 and the number of observation points was 29. Observation results show that the averaged cool island intensity was  $-0.84^{\circ}\text{C}$  during the observation period. The cooling effect of Takashi Ryokuchi on the surroundings (residential area) in calm condition was small compared with that in windy condition.

キーワード:クールアイランド, 緑地, 気象観測, 豊橋市

**Key Words** : Cool island, Green area, Meteorological measurement, Toyohashi City

## 1. はじめに

ヒートアイランド対策のひとつとして市街地緑地・水面による暑熱緩和効果が挙げられる。「ヒートアイランド対策大綱」<sup>(1)</sup>ではそれらがネットワークを形成することで風通しをよくし、暑熱環境の緩和に貢献できる可能性について述べている。

市街地内の緑地は相対的に気温が低くなることが知られているが、緑地内で生成された冷気による周辺市街地冷却効果について調べるため、東京や大阪にある大規模緑地では気象観測などを通じて緑地内外の気温差の測定、冷気生成メカニズムの解明、冷気流の動態（冷気にじみ出し）についての調査・研究が行われてきた。たとえば、成田ら<sup>(2)</sup>は東京都の新宿御苑(58.3ha)内外にて微気象観測を行い、市街地および御苑内の平均気温差をクールアイランド強度（以下 CII）とし、その値は1～2℃程度あること、緑地からの冷気にじみ出しは緑地境界から80～90m程度の規模であることを明らかにしている。また、浜田・三上<sup>(3)</sup>は明治神宮・代々木公園(124ha)を対象に気温の水平・鉛直構造をしらべ、夜間の市街地では接地逆転は生じないが、緑地においては数十m規模の接地逆転層が形成されることを明らかにしている。その他、大阪府内の大規模緑地での観測においても静穏時の冷気にじみだし現象が確認されてい

る<sup>(4)</sup>。

上記の研究例から都市内緑地は防災やアメニティ機能のみならず暑熱環境緩和の面から見ても重要であるといえるが、このことは大都市に限らず、地方都市でも共通していると考えられる。しかしながら、暑熱環境緩和を目的とした地方都市における中規模緑地の機能に関する調査・研究例は大都市に比べ未だ少なく、地方都市においても緑地およびその周辺市街地での継続的な気象観測によるデータの蓄積が高温化を抑える都市の再構築の観点から見ても必要であると考えられる。

そのような背景から本稿では夜間の熱帯夜日数が増加傾向にある愛知県豊橋市内の中規模緑地(高師緑地, 24.17ha)内外で気温の観測結果について整理し、クールアイランドの実態および緑地内で生成された冷気の周辺市街地に対する冷却効果について報告する。

## 2. 豊橋市における熱帯夜日数の経年推移

豊橋市は愛知県東部に位置し人口約37万人の都市である(2008年現在)。市西側は三河湾に面し、北側・東側は標高300m程度の丘陵で囲まれている。また、駅を中心に市街地が広がり、郊外は農地が主となっている(図1)。西尾<sup>(5)</sup>は1990年代半ばに移動観測による豊橋市のヒートアイ

ランドを調査し、市街地では郊外より1.5~2.0℃程度高温になることを明らかにしている。本調査で対象としている高師緑地(図1中の四角)もヒートアイランドによる高温域に含まれている。

図2は気象統計記録が利用できる1977年から2008年までの約30年間における7月から9月の間での熱帯夜日数(日最低気温が25度を下回る日数として整理)を表している。1970年代、80年代においては熱帯夜の平均日数は8日だったのに対し、90年代では18日、2000年代では21日と増加している。ここで、2000年以降の熱帯夜日数は20日前後を推移しているが、アメダスの観測点が2005年に海に近い市郊外の水田地域に移転されたため今後の熱帯夜日数の把握に当たっては注意が必要である。



図1 豊橋市の位置。図中の四角で囲まれている部分が観測対象緑地。ここで赤い点は緑地からの最遠点における観測地点を示す。星印は移転前(青)と移転後(赤)のアメダス観測地点を表す。(地図出典: Google マップ)

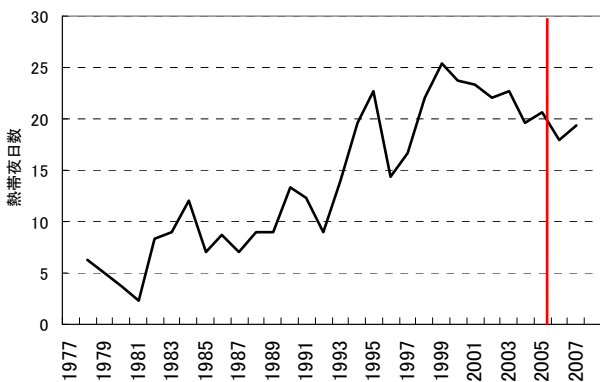


図2 豊橋市における熱帯夜日数の推移。赤い線はアメダス観測地点が移転した時期を表している

### 3. 観測

#### 3.1 気温観測機器の製作

重田ら<sup>(6)</sup>によって開発された気温測器を参考に図3のように製作した。本測器は塩ビパイプを用い、温度センサーを直達日射から保護するラディエーションシールド部(塩

化ビニール製)、ロガーを入れるプラスチックケースで構成されている。

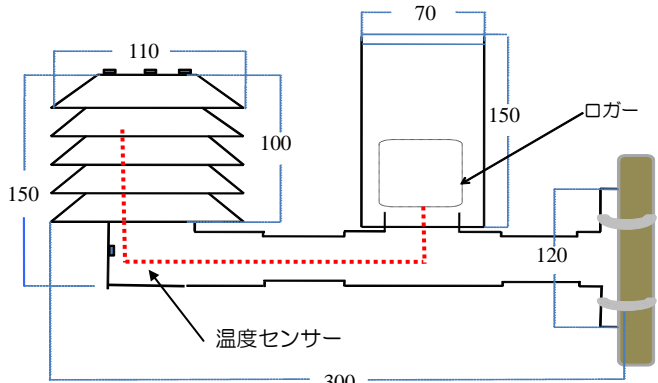


図3 測器略図(単位: mm)。重田ら<sup>(6)</sup>の図を改変

#### 3.2 観測対象領域および期間

観測は豊橋市内にある高師緑地(24.17ha)およびその周辺の住宅街で行った。温度計は緑地内外の街路灯29箇所、風速計は緑地南側境界付近に設置した(図4)。図には記されていないが、緑地北端から300m北、東側および南側市街地に設置した測器(No. 15, No. 20)から数百m離れた場所にも設置した。緑地は東西に最大約450m、南北に最大約800mの広さがあり、内部はクロマツの大木で構成されているが、その中には芝生広場(No. 5, 7周辺)、野球場や馬場(No. 1周辺)、遊具設備(No. 6周辺)も備えてある。また緑地の西側を縦断するように、豊橋鉄道渥美線と国道259号線(4車線)、緑地東側境界には県道(2車線)、南側境界には市道(1車線)が走っている。平成17年度における緑地付近の国道259号の平日12時間交通量は約2万台である<sup>(7)</sup>。緑地周辺はおもに低層住宅街で構成されるが、東側には工場敷地が広がっている。気温観測期間は2009年7月30日から8月30日までである。



図4 測器設置箇所。星印は超音波風速計設置箇所(写真出典: Yahoo 地図)

### 3.3 観測方法

(a) 気温 測器(図3)は緑地内にある電灯の支柱に結束バンドでくくりつける形で設置した。公共緑地および市街地での観測であるため設置高さは盗難防止および人や自動車の通行を妨げないように2.5mとした。気温のサンプリング間隔は1分とした。また、市街地においては緑地からの冷氣による気温への影響を見るため、測器の設置は緑地境界に通じる直線道路沿いとし、公園内同様、道路端の街路灯に設置した。なお、街路灯は等間隔に設置されておらず、したがって測器も等間隔に設置していない。また、場所によっては街路灯間隔が広く(100m以上)、その間の気温分布については十分な情報が得られなかった。

(b) 風速・風向 3次元超音波風速計を使用し、南側境界付近にある遊具設備を利用し高さ4.5mの位置に設置した(図4星印)。測定は10Hzで行った。本観測では緑地内での電源設備等の使用制約により測定は8月28日18:30分より約8時間の測定にとどまった。

### 4. 観測結果

観測期間である2009年8月の気候は平年に比べ太平洋高気圧の本州への張り出しが弱く<sup>(8)</sup>、豊橋アメダスでは8月上旬に降水が観測された。このことから本稿では晴天日が続き、気温が上がった8月13日から30日にかけて取得したデータを用いて整理を行った。

#### 4.1 観測期間中における住宅地区と緑地の気温推移

図5は観測期間中における緑地平均、市街地平均気温の時間変動を示す。ここで緑地気温は緑地内の観測点(8点)の平均値を使用した。市街地については菅原<sup>(9)</sup>にあるように市街地における気温は一般的に非常に不均一であるため、その空間代表性について注意する必要がある。本調査では緑地の影響を受けない市街地3箇所(緑地北端から300m北、東側および南側市街地に設置した測器(No.15, No.20)から数百m離れた場所)に設置した測器の気温の平均値を市街地気温とした。

図より、観測期間中は35°Cを超える猛暑日はなく、市街地における熱帯夜日数も8日であった。また、気温差(図6)は日中に大きく現れる傾向にあり、概ね1.0~1.6°C市街地が高温となっている。また、夜間の気温差は日中に比べ小さい傾向にあったが、日中以上に気温差が大きい日が数日見られた。このうち夜間における気温差の最大値は約1.8°C(8月19日23時~8月20日1時)であった。本観測期間を通して緑地は市街地より常に低温となり、逆転することはなかった。

#### 4.2 クールアイランド強度の時間推移

CIIは4.1で示した方法によって求めた緑地と周辺市街地の平均気温差とした<sup>(3)</sup>。

図7に観測期間中の各時刻における平均CIIの推移を示

す。期間中の平均強度は-0.84°C、標準偏差は0.36°Cであった。図より、平均強度が最大となる時間帯は15時(-1.2°C)、最小は午前7時付近(-0.6°C)に現れている。また、ばらつきをみると、最小値は午前7時~9時に現れ(0.2°C)、午後にかけて増加しているが日没付近で一旦減少後日付が変わる午前0時前後に最大(0.5°C)となっている。

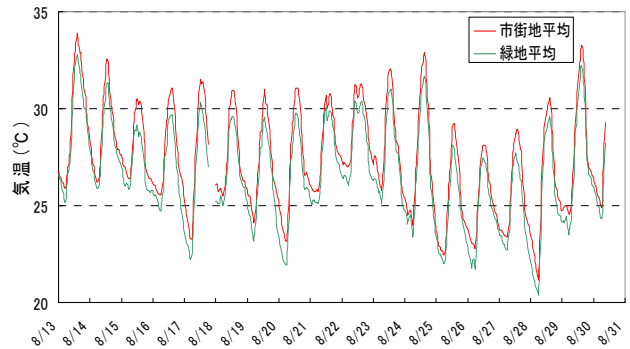


図5 観測期間中(2009年7月30日~8月30日)における緑地と市街地気温

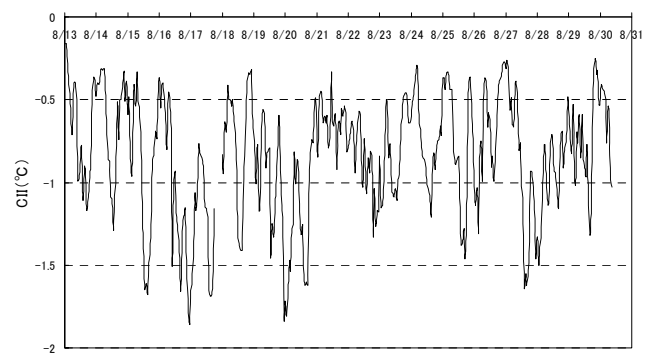


図6 観測期間中(2009年7月30日~8月30日)におけるCIIの推移

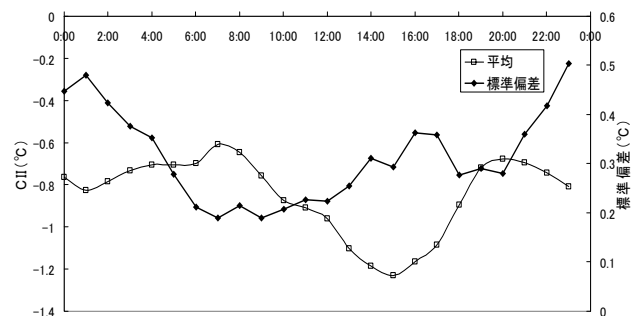


図7 観測期間中(2009年7月30日~8月30日)におけるクールアイランド強度および標準偏差の平均値の日変化

### 5. 高師緑地による市街地冷却効果

緑地内で生成された冷氣は移流および“冷氣にじみだし”現象により流出し周辺市街地の気温に影響を与える。にじ

みだしが起りやすい条件として晴天・静穏な夜間で大気が安定している状態であることがわかっている<sup>(2)</sup>。

本節では移流およびにじみだしによる緑地からの冷気流出が発生しやすい気象条件に近い観測日を抽出し、気温データをもとに夜間における市街地の冷却効果について検討する。なお、冷気流の動態解析には風速・風向の測定データが必要であるが、先述のように電源設備等の使用制約により測定は短時間にとどまったため、風についてはアメダス（豊橋）のデータを参考値として使用し緑地の冷気動態を調べた。アメダスデータを使用するに当たり事前にアメダス10分値と超音波風速計による10分平均値の対応関係を調べたところ、緑地内の風向は概ねアメダスのそれと一致した。また、スカラー風速については器差を確認していないため単純比較できないが、超音波風速計での風速はいずれも1.0m/s未満でありアメダス風速の数%~40%以内であること、特に午前0時以降では10%未満であったことを確認している。

### 5.1 冷気にじみ出しによる冷却効果

アメダスにおける風速が1.5m/s未満でかつ夜間のCIIが-1.5℃を下回った8月16日~17日、19日~20日を対象にし（図6参照）市街地冷却効果の検討を行った。

図8a-cは緑地内から東側市街地、西側市街地および南側市街地における気温分布を表している。ここで気温はCIIが大きかった前述の日時について平均した値を用いている。図中の番号は図4に示された測器の番号である。また、x軸の負値は緑地内、0mは緑地と市街地の境界、正值は市街地内を示している。風向についてはいずれも午前0時前は南寄り（南東）、午前0時以降は北寄り（北または北東）に変化している。

東側市街地（図8a）をみると21:00、0:00において公園内部（No.7）から境界（No.8）をとおり市街地（No.11）までの間に1.7~2.0℃昇温している。一方、3:00では昇温は約1.5℃となっている。緑地境界から遠ざかる方向における気温（No.12-15）は概ね同程度である。このことは東側市街地における緑地の冷却効果は50m以内であることが示唆されるが、3.2で述べたように緑地東側境界は2車線の県道が走っており、夜間においては道路表面からの放熱の影響により冷気の市街地への浸入が阻害されている可能性がある。このため冷気による気温低減効果は県道のごく近傍に限られると推定される。今回の測定では測器の設置間隔が大きいため冷気の正確なにじみ出し距離は把握できないが、上記を検証するためには移動観測等で道路周辺の詳細な気温分布を明らかにする必要がある。

次に西側市街地の気温分布（図8b）を見ると、各時刻とも観測点No.21、22間で緩やかな減少傾向が見られる。この2つの観測点は4車線の国道沿いの緑地（No.21）とその点から西側約50mに位置する市街地と緑地の境界（No.22）に設置しており、道路端の観測点（No.21）は道路表面からの放熱および自動車排熱の影響を受けていると考えられる。

また、緑地東側および西側境界の観測点とそこから60mから70mに位置する観測点（No.11、No.23）におけるそれぞれの緑地境界との気温差を比較すると、東側（図8a）が最大2.0℃（0時）であるのに対し、西側は最大0.6℃（21時）と小さい。このことは西側市街地と緑地境界（No.22）との間に幹線道路が存在しないことより緑地からの冷気がNo.23に到達しやすく、そのために気温差が小さくなったとは必ずしも言えない。理由として緑地西側は鉄道と4車線の国道で分断されており、夜間の道路表面からの放熱が影響して熱的にも分断されている可能性があり、したがって西側市街地の気温形成に対する緑地の寄与は東側、南側市街地に比べ小さいと考えられること、西側の観測点周囲は比較的広い畑も存在するためそれら局所的な地表面被覆の効果が気温に影響を及ぼしている可能性もあることによる。

図8cに南側市街地の気温分布を示す。緑地境界（No.6）から南に約60m離れた観測点（No.16）までに0.7~1.2℃の昇温がみられる。緑地南側境界には1車線の市道が走り、夜間の交通量は国道、県道に比較して少ない。また、市道の道路端には緑地樹木、住宅が並んでおり日中はそれらの影で道路表面への直達日射量が南北を走る国道、県道より少ないと考えられることから夜間の道路表面からの放熱量も東側に比べ南側市道は少なく緑地からの冷気が浸入しやすい環境にあると考えられる。このことから、21時におけるNo.16~19での気温は同程度であったものが、0時、3時には緩やかな昇温傾向に変化したのは緑地からの冷気が市街地に浸入しているためであることが示唆される。観測点網が粗いため定性的な議論にならざるを得ないが、緑地の南側市街地における気温への影響は境界より60mを越えている可能性がある。ただし、前出の成田らが報告しているように、新宿御苑からの冷気にじみだしは80~90mの範囲であることより、本調査で示された冷却効果がNo.19の観測点（境界から約170m）に及ぶかどうかは東側同様、詳細な観測による検証が必要となる。

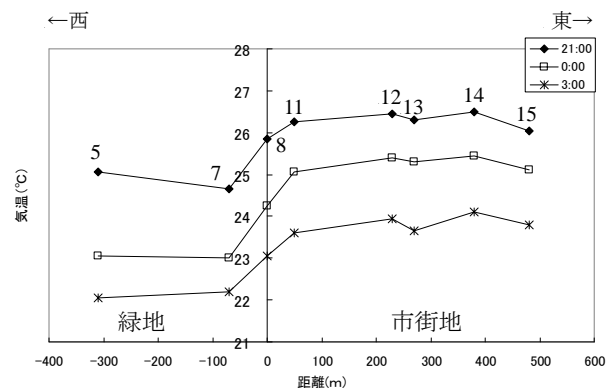


図8a 緑地内および東側市街地における気温分布（2009年8月16日、17日、19日、20日の平均値）

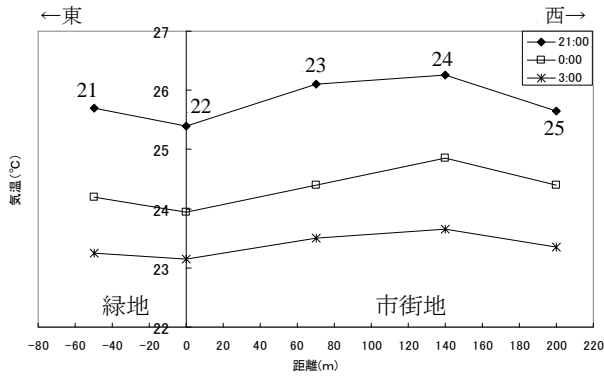


図 8b 緑地内および西側市街地における気温分布 (2009年8月16日, 17日, 19日, 20日の平均値)

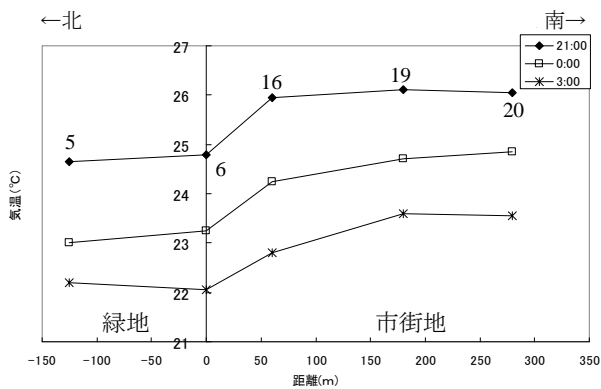


図 8c 緑地内および南側市街地における気温分布 (2009年8月16日, 17日, 19日, 20日の平均値)

## 5.2 移流による冷却効果

アメダスにおける風速が概ね 2.0m/s 以上のケースを対象とした。ここでは緑地をはさむ東西方向の気温分布についてはそれぞれ西寄りの風(西北西), 東寄りの風(東南東), 緑地南側については北寄り(北, 北北東)の風に分けて市街地の冷却効果を調べた。なお, 東西および南市街地の観測点は図 8 に示されている番号と同様である。緑地内の観測点については緑地東側(国道に最も近い観測点)に設置した測器(No. 26)のデータを加えた。

(a) 西寄りの風 図 9 にアメダスにより西風が継続的に観測された 8 月 23 日 21 時(西北西 3.9m/s), 24 日 0 時(西北西 3.1m/s)における気温分布を示す。図中, 枠で囲った部分は緑地を表している。図より, 21 時から 0 時までの間に各観測点ともに 1°C の気温低減があった。

西側市街地より緑地西側に流入してきた暖気は市街地境界(No. 22)から国道(No. 21)までの約 50m の緑地帯を吹走する間に 0.2~0.3°C 気温が減少している。しかしながら, 国道に近い緑地内の観測点(No. 26)では No. 21 に比較して高温傾向になっている。これは 4 車線の国道からの加熱の影響によるものと考えられる。この後, 緑地内でさらに冷却され緑地内(No. 7)から緑地東側境界(No. 8)までに 0.1~0.3°C, 東側境界から 60m 程度離れた観測点(No. 11)ま

でさらに 0.2°C の気温上昇が見られる。No. 11~12 までは緩やかな上昇傾向にあるが, それ以遠の観測点(No. 12~15)では気温の単調増加が見られない。これは No. 12 以遠の観測点における気温はそこに冷気が到達する間に加熱されたためと考えられる。本観測では No. 11 と 12 の間に測器が設置できる街路灯がなかったため正確な到達距離が明らかにできなかったが, No. 8~11 における気温変化量(0.2°C/50m)に比べ No. 11~12 のそれは非常に小さい(0.1~0.3°C/180m)ことより冷気の影響の及ぶ範囲は No. 11 近傍に限られると推測される。

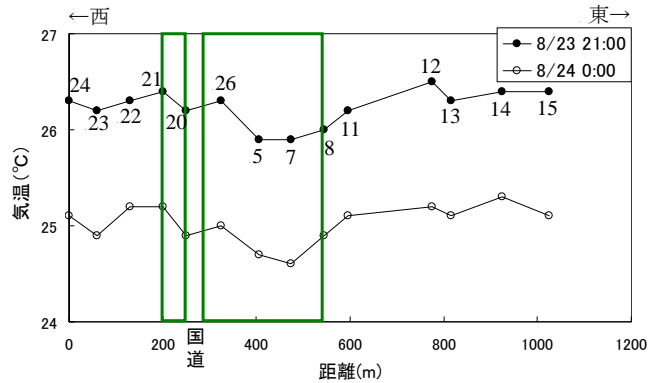


図 9 西寄りの風の場合の緑地東西方向の気温分布(緑地を挟んで左が西側市街地, 右が東側市街地を表す)。

(b) 東寄りの風 図 10 は東南東の風が観測された 8 月 17 日 21 時(東南東 3.8m/s), 23 時(東南東 2.0m/s)および 8 月 26 日 21 時(東南東 2.7m/s)における気温分布を表している。

図より 8 月 17 日における緑地東側市街地の各観測点(No. 11~15)における気温は同程度であり, この気温を保ったまま緑地東側境界(No. 8)に暖気が到達している。緑地内では境界から緑地東側の観測点(No. 7)までに 0.4~0.5°C の気温低減が見られ, 緑地西側の観測点(No. 26)まで概ね低減された気温を維持している。しかしながら, 国道を挟んだ観測点(No. 21)では 0.2~0.5°C の気温上昇が見られ, 国道が熱源となり大気を再加熱したと考えられる。この後, 再び緑地帯で冷却され(0.2~0.4°C の減少)西側市街地に流出している。ここで西側境界(No. 22)から市街地内の観測点(No. 24)までの気温上昇率を静穏時のケース(図 8b)と比較すると静穏時で 0.8°C/140m(21 時), 有風時で 0.4°C/140m(21 時)と有風時で緩やかな上昇率となっている。先述のように, 東側市街地に比較し西側市街地の観測点付近には比較的広い畑が存在し, 市街地における大気の加熱量も東側に比べ少ないことに加え, 有風時には冷気がより深く市街地に流入しやすい環境にあるために静穏時と比較しより緩やかな気温上昇となったと考えられる。

(c) 北寄りの風 図 11 に南側市街地の気温分布を示す。緑地の南側市街地への影響は, 北および北北東の風が観測された 8 月 25 日 0 時(北北東 1.7m/s), 3 時(北 2.7m/s)

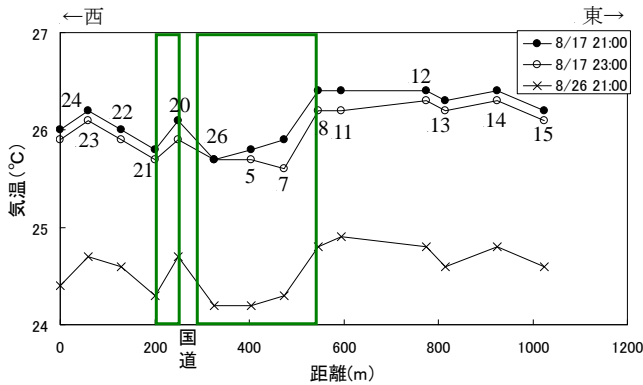


図 10 東寄りの風が観測された場合の緑地東西方向の気温分布

を対象にする。

図より緑地内 (No. 5) と南側境界 (No. 6) では気温は同程度であるが、緑地境界から 60m 程度南側に位置する観測点 (No. 16) では 0.3~0.4℃の上昇が見られる。さらに、緑地境界から 180m ほど離れた住宅街 (No. 19) に及ぶまで昇温傾向が続いている。観測点 No. 16 から No. 19 までの気温上昇は 0.4℃となっている。静穏時の同時刻 (0 時, 3 時) における同区間の気温上昇は図 8c よりそれぞれ 0.4℃, 0.8℃と有風時に比べ大きくなっていることより、有風時は冷気がより深く市街地に侵入していると考えられるが、その範囲は境界より 170m 以内であることが示唆される。

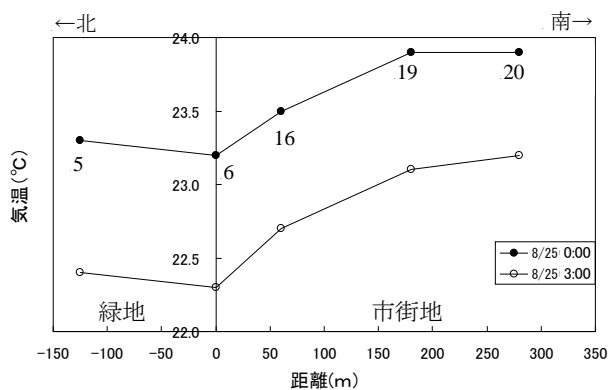


図 11 北寄りの風の場合の緑地南方向の気温分布

## 6. まとめ

豊橋市の中規模緑地内外で夏季に気温観測を行い、クールアイランドの実態把握および冷気による周辺市街地冷却効果を静穏時、有風時に分けて検討した。以下に得られた結果を示す。

- ① 観測期間中のクールアイランドの平均強度は-0.84℃であり、強度が最大となるのは 15 時 (-1.2℃), 最小は 7 時 (-0.6℃) であった。
- ② 冷気のにじみ出しによる市街地冷却効果は緑地境界に県道が走る東側市街地では境界から 50m 以内と考えられる

が、道路表面からの放熱が冷気の浸入を阻害するため気温低減効果は県道のごく近傍に限られる可能性がある。

西側市街地では緑地境界から市街地までの気温上昇率は東側と比べて小さいが、これは緑地からの冷気によるものではなく観測点周囲の地表面被覆の効果による。

南側境界は 1 車線の市道があり、日中は道路沿いの樹林、建物により道路表面への直達日射量が少ないと考えられる。それゆえ夜間放熱量も少なく冷気が浸入しやすいことから南側市街地における気温への影響は境界より 60m を越えている可能性がある。

③ 移流による冷却効果：西寄りの風の場合、東側市街地における気温は東側境界から 60m 程度離れた観測点 (No. 11) 以遠では気温変化量が非常に小さかった。このことより冷気の影響の及ぶ範囲は No. 11 近傍までに限られる。

東寄りの風の場合、西側市街地に冷気が到達する間に道路表面により大気が再加熱される。気温上昇率を静穏時と比較すると有風時の方が小さい。これは観測点付近には比較的広い畑が存在し、市街地における大気の加熱量も東側に比べ少ないことに加え、有風時には冷気がより深く市街地に流入しやすい環境にあるためと考えられる。

北寄りの風の場合、静穏時より深く市街地に冷気が浸入したと考えられ、有風時における緑地南側市街地の冷却効果は境界より 170m 以内であることが示唆された。

## 参考文献

- (1) ヒートアイランド対策関係府省連絡会議, ヒートアイランド対策大綱(2004)
- (2) 成田 健一, 三上 岳彦, 菅原 広史, 本條 毅, 木村 圭司, 桑田 直也, 新宿御苑におけるクールアイランドと冷気のにじみ出し現象, 地理学評論, Vol.77, No.6 (2004), pp.403-420.
- (3) 浜田 崇, 三上 岳彦, 都市内緑地のクールアイランド現象, 地理学評論, Vol.67, No.8 (1994), pp.518-529.
- (4) 竹林英樹, 森山正和, 実測調査による市街地内公園からの冷気のにじみ出し現象の解析, 日本ヒートアイランド学会論文集, Vol.3 (2008), pp.34-39.
- (5) 西尾美徳, 豊橋市のヒートアイランドについて, 地理科学, Vol.52, No.4 (1997), pp.207-221.
- (6) 重田祥範, 畔柳秀匡, 大橋唯太, 平野勇二郎, 亀卦川幸浩, 外岡秀行, 塚本修, 大阪平野を対象とした街区構造ごとの大気熱環境特性 -小型計測機器を用いた定点型観測-, 日本ヒートアイランド学会第 3 回全国大会(2008), pp.96-97.
- (7) 平成 17 年度道路交通センサス, 国土交通省中部地方整備局  
<http://www.mlit.go.jp/road/ir/data/koutu/index05.html>
- (8) 気象庁観測部統計室, 気候情報 2009 年 8 月の日本の天候, 天気, Vol.56, No.10 (2009), p.823.
- (9) 菅原広史, 成田健一, 三上岳彦, 本條毅, 石井康一郎, 都市内緑地におけるクールアイランド強度の季節変

化と気象条件への依存性, 天気, Vol.53, No.5 (2006),  
pp. 393-404.

(Received January 4, 2010, Accepted March 29, 2010)