

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

Analysis of cold air drainage from the park in urban area by observations

竹林 英樹*¹ 森山 正和*¹
Hideki Takebayashi Masakazu Moriyama

*¹ 神戸大学大学院工学研究科 Graduate school of Engineering, Kobe University

Corresponding author: Hideki TAKEBAYASHI, thideki@koube-u.ac.jp

ABSTRACT

Observations concerning cold air drainage from the park are carried out in relatively large parks in the built-up area of Osaka prefecture, and its potential evaluation is examined. It is confirmed that wind blows radially from the center of the park to the built-up area as a result of movement observation of wind direction and velocity. Cold air drainage from the park is confirmed in the case of weak sea breeze in the night from observation results at the west edge point in the park. Wind velocity of cold air drainage from the park is weak (about 0.5 m/s), but air temperature falls around two or three degrees suddenly right after the wind direction change. It is thought that cold air drainage from the park flows out into the built-up area triggered by sea breeze becoming weak. It is confirmed that air temperature falls to as same air temperature in the park by cold air drainage from the park at some points in an immediate neighborhood of the park in the case of cold air drainage wind direction.

キーワード：冷気のにじみ出し，公園，測定

Key Words : Cold air drainage from the park, Park, Observation

1. はじめに

近年社会問題となっているヒートアイランド現象に関して、著者らが従来から研究対象としている京阪神地域においても 2005 年夏季には大阪府が大阪市中心部を対象として、2006 年夏季には堺市が堺市中心部を対象として、ヒートアイランド対策を念頭に置いた集中的な観測調査を実施した。これらの調査は主に市街地内の気温、湿度分布を自転車による移動観測により明らかにしようとするものである。本研究は、これらの調査に連係する形で実施したものであり、市街地内に位置する比較的大規模な緑地に注目し、緑地から市街地へ流出してくる冷気のにじみ出し現象に関して、そのポテンシャルの評価を検討したものである。

冷気のにじみ出し現象に関しては、成田ら^{(1),(2)}による新宿御苑における一連の調査が系統的に実施された事例として挙げられる。成田らが研究レビューで指摘しているように、緑地の熱環境緩和効果に関する研究事例は数多く報告されているが^{(3)~(6)}、冷気のにじみ出し現象に注目した研究事例はこの新宿御苑の事例のみであり、他の都市や規模の異なる緑地での評価などは十分に行われておらず、都市内

緑地の熱環境緩和効果の評価という点では更なる研究の蓄積が必要であると考えられる。成田らの研究では、晴天かつ静穏な夜間、緑地と市街地の境界においてほぼ同時に緑地から市街地へ流出するにじみ出し現象が確認され、約 1°C の気温低下が観測され、平均風速は 0.1~0.3m/s であったと報告されている。本研究では、大阪市内及び堺市内における比較的大規模な緑地である大阪城公園と大仙公園を対象として、緑地と市街地境界部で風と気温の測定を実施し、冷気のにじみ出し現象のポテンシャル評価について検討を行った。

2. 測定の概要

測定期間は、大阪城公園では 2005 年 8 月 9 日 13 時~12 日 9 時であり、大仙公園では 2006 年 8 月 2 日 12 時~8 日 9 時である。大阪城公園での測定点の分布および公園西端での測定点の鉛直分布を図 1, 2 に、大仙公園での測定点の分布を図 3 に示す。両地点ともに、公園西端における超音波風速温度計による風向、風速、気温の測定を主とし、大阪城公園の測定では、8 月 11 日~12 日の夜間にのみ風向、風



◎: Wind direction and velocity, air, surface and underground temperature
 △: Wind direction and velocity ○: Air temperature

図1 大阪城公園での測定点の分布



◎: Wind direction and velocity, air, surface and underground temperature
 ○: Air temperature

図3 大仙公園での測定点の分布

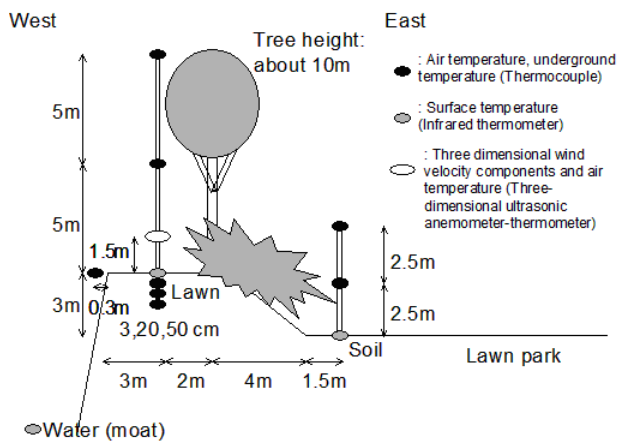


図2 大阪城公園での測定点の鉛直分布
 (南から北を見た断面)

表1 測定項目

	Observation element	Observation instrument
Osaka castle park in Osaka city	Three dimensional wind velocity components and air temperature (at the height of 1.5 m)	Three dimensional ultrasonic anemometer (5 cm span)
	Vertical air temperature profile (at the height of 10 and 5 m on the embankment 5 and 2.5 m under the embankment, and above the moat)	Thermo couple (T-cc)
	Surface temperature (lawn, soil, water)	Infrared thermo meter
	Underground temperature (-3, -20, -50 cm)	Thermo couple (T-cc)
Daisen park in Sakai city	Air temperature in the inside and outside of the park (at the height of 1.5 m)	Pt100 sensor with data logger
	Wind direction and velocity by moving observation (at the height of 1.5 m)	Smoke and hot-wire type anemometer
	Three dimensional wind velocity components and air temperature (at the height of 1.5 m)	Three dimensional ultrasonic anemometer (5 cm span)
	Vertical air temperature profile (at the height of 5 and 2.5 m)	Thermo couple (T-cc)
Osaka castle park in Osaka city	Surface temperature (lawn, soil)	Infrared thermo meter
	Underground temperature (-3, -20, -50 cm)	Thermo couple (T-cc)
	Air temperature in the inside and outside of the park (at the height of 1.5 m)	Thermistor sensor with data logger

速の移動測定を行い、大阪城の東西南北端において同時刻に公園の中央から市街地に向けて放射状に風が吹き出していることを確認し、成田らの新宿御苑での観測結果と同様の傾向であると判断した。大仙公園の測定では、市街地内での気温分布の連続測定を追加し、にじみ出し現象による市街地気温の低下効果に関する考察を行う。測定項目を表1に示す。データは1秒間隔で測定し、1分毎に平均した値を解析に用いる。なお、大阪城公園での風向、風速の移動測定は夜間のみ1時間毎、大仙公園での市街地内、公園内の気温分布の測定は1分毎の測定である。

大阪城公園の公園西端測定点は、東側が芝地の庭園、西側が水を蓄えた堀である土手の上に位置する。土手上の高さ1.5mに超音波風速温度計を設置した。大仙公園の公園西端測定点は、柵を挟んで市街地と面しており、西側は公園の外側を周回する2車線のアスファルト道路(通行量は少ない)を挟んで住宅地、東側は中低木の多い日本庭園、高木と芝生の公園へと続く。公園と市街地を隔てる柵より2m程度公園内に入った地点の高さ1.5mに超音波風速温度計を設置した。超音波風速温度計の温度は研究室の恒温装置により校正を行った。

3. 公園西端での測定結果

3.1 大阪城公園での測定結果

図4に2005年8月9日～12日の気温、風向、風速の測定結果を示す。併せて、大阪管区気象台の風向、風速(風速計高さ22.9m、天守閣横で測定)を示す。この地域の夏季日中の主風向は海風成分の西風であり、東風は公園から市街地へにじみ出す風向である。ただし東風は陸風成分とも一致する。10日～11日の夜間に東風の風向が多く、冷気のにじみ出し現象が発生していたと考えられる。このときの気象台の風向はばらつく傾向にあり風速は弱い。従って、この地域を支配する海風(西風)が弱くなった場合に、公園から市街地へ向かう風が確認されたのではないかと考えられる。

図5に公園から市街地へ向かう風が多く確認された2005年8月10日18時～11日6時の気温、風向、風速の測定結果を示す。図6に同期間の気温の鉛直分布の測定結果を示す。気温はT型熱電対により測定したが、輻射除け及び通風装置は設置しておらず、日中のデータには日射の影響が

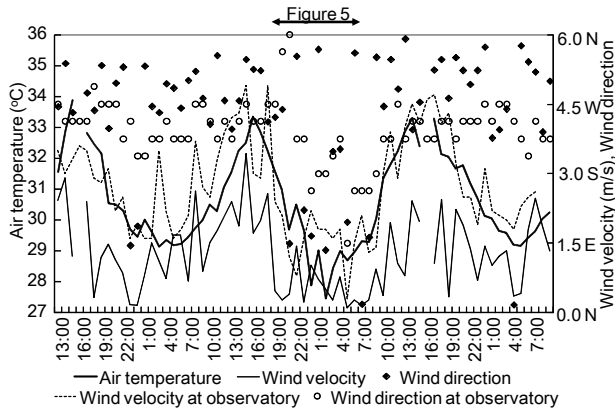


図4 大阪城公園での気温、風向、風速の測定結果
(2005年8月9日～12日)

(解析には1分毎のデータを用いているが
図を見やすくするために1時間毎のデータを示す。
以下図5, 6, 11, 14, 15でも同様)

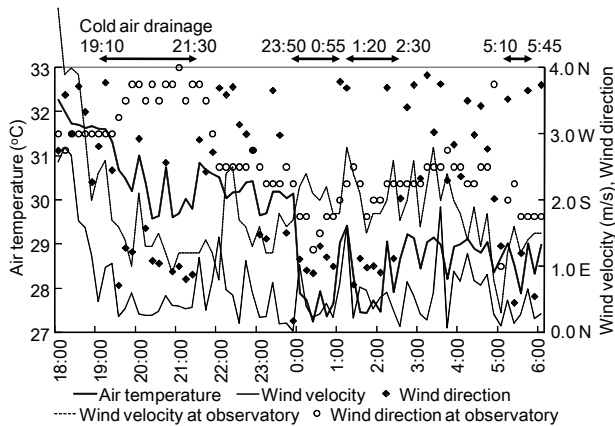


図5 大阪城公園の気温、風向、風速の測定結果
(2005年8月10日18時～11日6時)

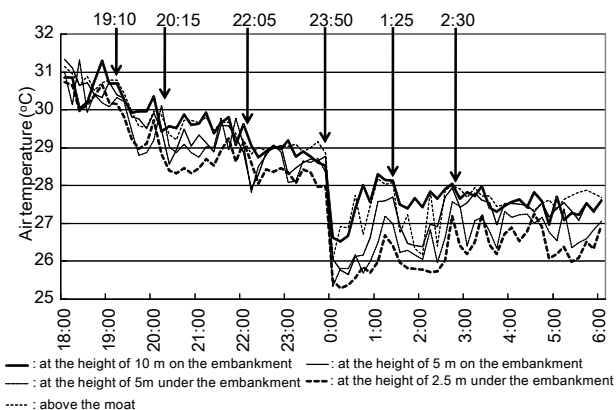


図6 大阪城公園での気温の鉛直分布の測定結果
(2005年8月10日18時～11日6時)

含まれていると考えられる。従って、本研究では夜間のデータのみを検討対象とする。この夜間には風向が数回東風に変化している。その時間帯を図5上部に両矢印で示し、

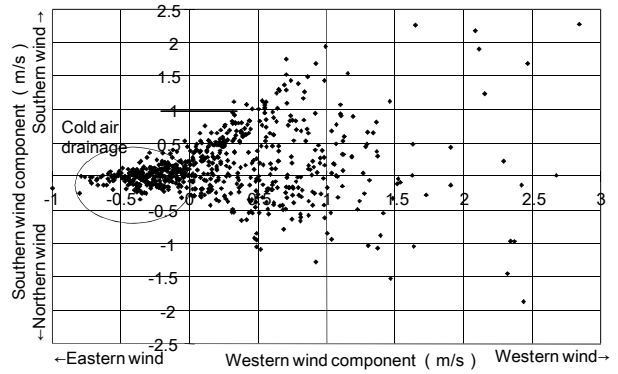


図7 大阪城公園での風の水平成分の相関
(2005年8月10日18時～11日6時)

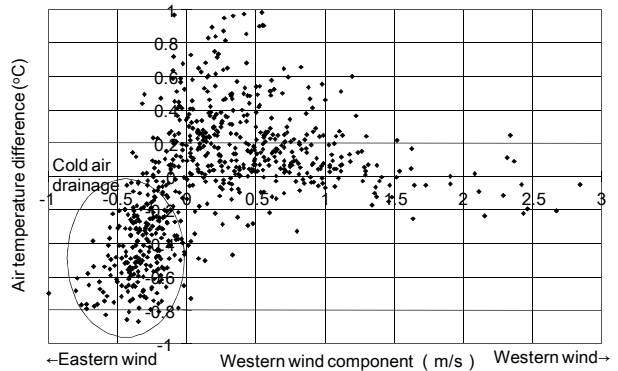


図8 大阪城公園の西風成分と気温偏差の相関
(2005年8月10日18時～11日6時)
(気温偏差は前後30分平均値との差)

図6には該当する時刻を示している。東風に風向が変化する際には、大阪管区气象台の風速は若干弱く、風向はばらつく傾向にある。この地域の气象台(大阪、堺共に)の風向が夜間に東風になると陸風に支配された状態であると判断されるが、气象台の風向は再び(図5では2時30分以降)海風成分である(南)西風に戻ることが多く、この地域が完全に陸風に支配されたとは判断できないことが多い。従って、海風が弱くなるとにじみ出しが確認できるとの認識に至っているが、今回のように公園の西端での測定結果からは厳密に陸風との区別ができるものではないと思われる。気温は急に3°C程度低下する場合(0時直前)もあった。このとき10m上空と地表付近の気温差は2°C程度になっており、地表付近に冷気が蓄積した状態であると考えられる。

図7に2005年8月10日18時～11日6時の風の水平方向成分の相関を示す。図中に丸を付した部分がにじみ出しの風向である。最大でも0.7m/s程度であり、海風(西風)の場合の風速と比較すると小さい。図8に同期間の西風成分と気温偏差(前後30分平均値との差)の相関を示す。図6で確認された気温の急激な低下は、数分～数十分程度をかけて確認されたため、前後30分平均値との差を取ればこの低下量が抽出できると想定した。ただし、図6からも分

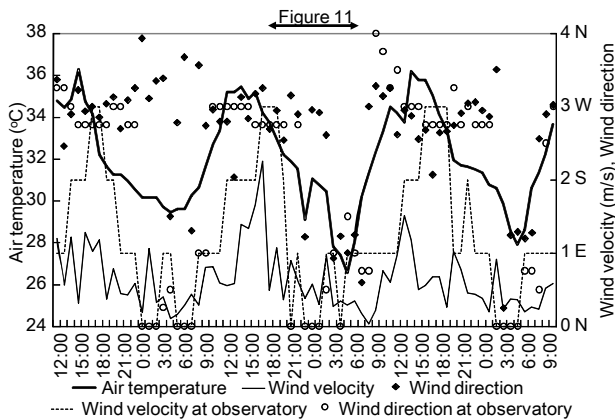


図9 大仙公園での気温、風向、風速の測定結果
(2006年8月2日～5日)

(解析には1分毎のデータを用いているが図を見やすくするために1時間毎のデータを示す。以下図10でも同様)

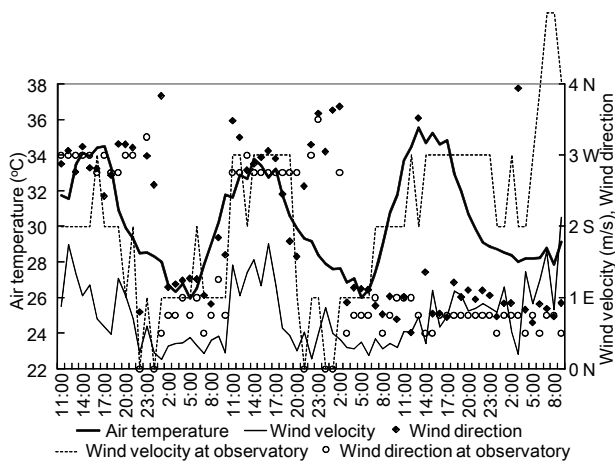


図10 大仙公園での気温、風向、風速の測定結果
(2006年8月5日～8日)

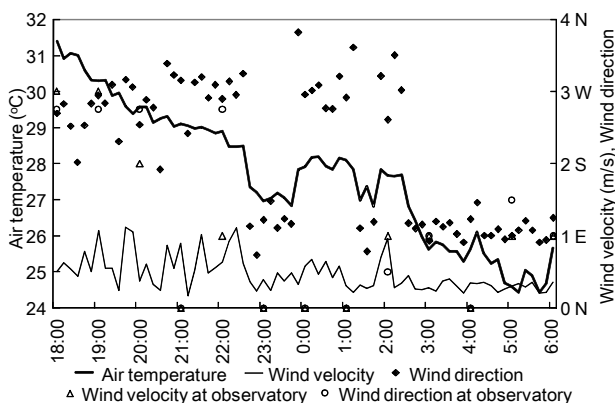


図11 大仙公園での気温、風向、風速の測定結果
(2006年8月3日18時～4日6時)

かるように気温低下の様子は気象条件等により異なるため、平均値を30分で取ることが最適というわけではない。このように比較的大雑把なデータ処理をしたにも関わらず、東

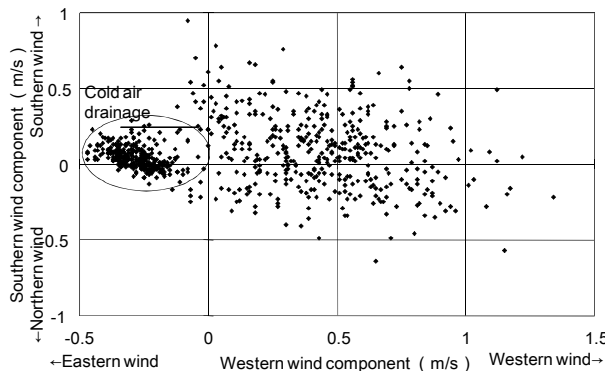


図12 大仙公園での風の水平成分の相関
(2006年8月3日18時～4日6時)

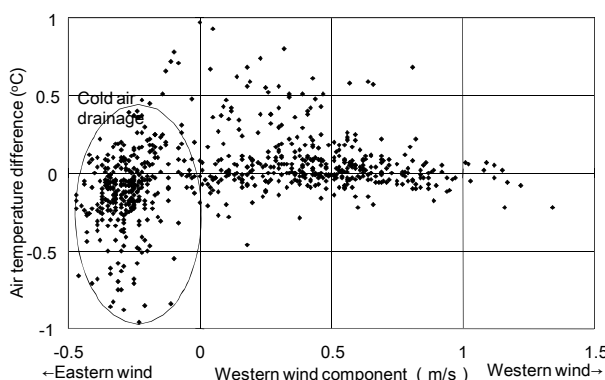


図13 大仙公園の西風成分と気温偏差の相関
(2006年8月3日18時～4日6時)
(気温偏差は前後30分平均値との差)

風成分(にじみ出し成分)の風速が大きいときに気温の低下量が大きく、東風成分0.5m/sで0.8°C程度の気温低下となっている。

あまり顕著な風向の変化が確認されなかった2005年8月9日18時～10日6時の風の水平方向成分の相関及び西風成分と気温偏差の相関を確認したところ、10日～11日と比較すると、東風成分(にじみ出し成分)の頻度は少ないが、東風成分の際の気温の低下量は同程度であった。

3.2 大仙公園での測定結果

図9, 10に2006年8月2日～5日及び5日～8日の気温、風向、風速の測定結果を示す。併せて、アメダス塚の風向、風速(風速計高さ6.5m、大仙公園より東南東約2.5kmの大阪府立大学で測定)を示す。7日以降は台風接近の影響を若干受けている。この地域の夏季日中の主風向は大阪市内と同様に海風成分の西風であり、東風は公園から市街地へにじみ出す風向である。ただし東風は陸風成分とも一致する。いずれの夜間も東風の風向に変化しており、冷気のにじみ出し現象が発生していたと考えられる。このときの気象台の風向はばらつく傾向にあり風速は弱い。従って、大阪城公園での測定結果と同様にこの地域を支配する海風が弱くなった場合に、公園から市街地へ向かう風が確認され

ていると考えられる。

図 11 に公園から市街地へ向かう風が多く確認された 2006 年 8 月 3 日 18 時～4 日 6 時の気温、風向、風速の測定結果を示す。夜間に数回風向が東風に変化しており、そのとき気温は急に 2℃程度低下する場合（22 時 30 分頃など）がある。

図 12 に同期間の風の水平方向成分の相関を示す。最大でも 0.5m/s 程度であり、海風（西風）の場合の風速と比較すると小さい。にじみ出しの風速は大阪城公園での測定結果と比較すると若干小さい程度であるが、海風（西風）の風速もかなり小さくなっている。大阪城公園が上町台地上に位置し周辺市街地より少し標高が高く、西側の堀を挟んで市街地との距離が確保されているために、風通しの良い条件で測定されているためではないかと考えられる。

図 13 に同期間の西風成分と気温偏差（前後 30 分平均値との差）の相関を示す。東風成分（にじみ出し成分）の風速が大きいときに気温の低下量が大きくなる傾向はあるが大阪城公園ほど明確ではない。図 11 から分かるように、風向が東風成分（にじみ出し成分）に変化する際に大きな気温低下が生じるが、東風が続く条件では低下量は少ない。この日は 3 時以降に風向がほぼ東で安定しており、アメダスの風向も東であるため、この地域全体が陸風に支配された状況であると考えられる。この様な条件では急激な気温の低下は生じず、図 13 において東風の条件でも前後 30 分平均値との気温偏差は小さいと表現されている。

3.3 公園西端での測定結果のまとめ

大阪城公園と大仙公園の測定結果より、夜間にこの地域を支配している海風が弱くなると公園からのにじみ出し成分の風が確認され、風速は 0.5m/s 程度と弱い、気温は急激に 2～3℃程度低下する。気温の低下は風向が変化した直後に大きい、地域全体が東風（陸風）に支配されると小さくなる。このことは、公園内で放射冷却により生成された冷気はある程度蓄積されており、海風が弱くなることをきっかけに市街地内へ流出するということを表していると考えられる。

一般に冷気のにじみ出し現象は、低温な冷気が密度流として流出する現象であると考えられ、理想的な条件において、 $\frac{1}{2}\rho u^2 = \Delta\rho gh$ により表現される。ここで、 ρ ：空気密度 (kg/m³)、 u ：風速 (m/s)、 $\Delta\rho$ ：冷気と周辺空気の密度差 (kg/m³)、 g ：重力加速度 (=9.8m/s²)、 h ：冷気厚さ (m) である。この式に、測定結果を参考に温度差 1℃、冷気層さ 5m を代入すると風速 $u=0.58\text{m/s}$ となり、測定結果より若干大きな値となるが、測定値は周辺地物の抵抗の影響を受けて減速されており、概ね妥当な結果ではないかと考えられる。このことから、公園より流出する冷気の風速は 0.5m/s 程度と小さく、その出現が地域全体の風の条件によるということがいえる。

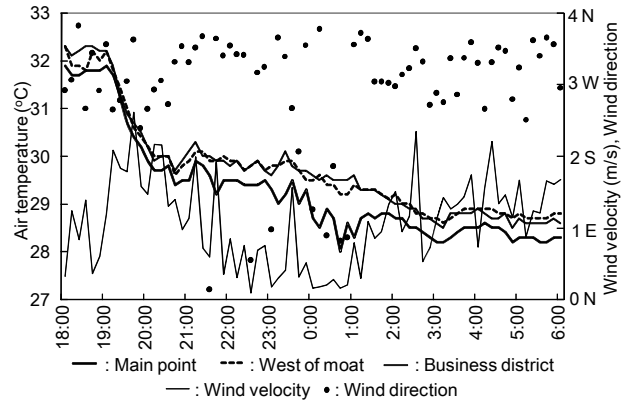


図 14 大阪城公園西側での気温測定結果 (2005 年 8 月 9 日 18 時～10 日 6 時)

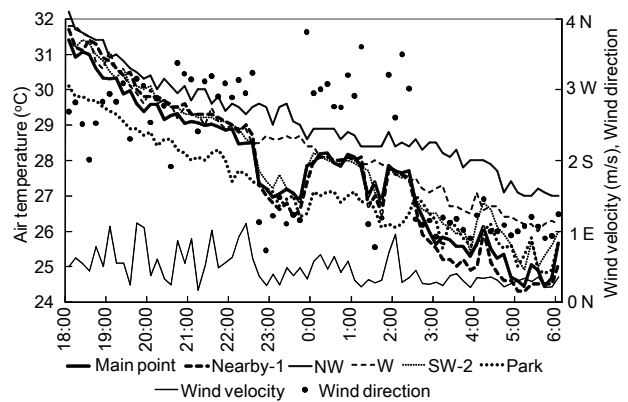


図 15 大仙公園西側市街地での気温測定結果 (2006 年 8 月 3 日 18 時～4 日 6 時)

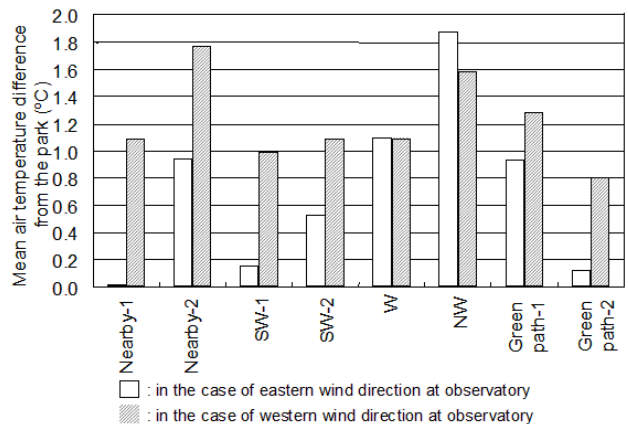


図 16 大仙公園内と西側市街地各地点の気温差 (2006 年 8 月 2 日～5 日の 18 時～6 時)

4. 市街地気温への影響に関する考察

4.1 大阪城公園西側での測定結果

大阪城公園西側での気温の測定結果（比較的にじみ出しの風向が多かった 2005 年 8 月 9 日 18 時～10 日 6 時）を図 14 に示す。外堀西端は堀を挟んで西側に位置し、府庁南東角は更に 100m 程度市街地内に入った地点である（図 1 参照）。

この気温は風向が東風に変化した際に公園内では気温低下が確認されるが、堀を挟んだ市街地内ではその影響は確認できない。市街地内と公園との間には堀が位置しており、その表面温度は終日 31℃程度であった。それに対し、公園からにじみ出す冷気は周辺市街地と比較して 0.5℃程度低温ではあるが、風速は弱く、堀を越えて市街地内の気温を低下させるまでには至らないと考えられる。

4.2 大仙公園西側市街地での測定結果

大仙公園西側での気温の測定結果（比較的にじみ出しの風向が多かった 2006 年 8 月 3 日 18 時～4 日 6 時）を図 15 に示す。公園近傍は市街地と公園を隔てている柵及び周回道路を挟んですぐ西側に位置し、市街地内の測定点は北西約 240m、西約 180m、南西約 220m に位置する（図 3 参照）。公園内部の気温（樹冠下で測定）は終日市街地より低温であり、夜間は 1℃程度低くなっている。それに対し、公園西端の気温は日没後すぐなどでは市街地の気温に近いが、風向が東風に変化した際に公園内の気温と同程度になる。このとき、市街地内の近傍及び南西地点では公園西端と同様の気温低下が確認されるが、北西、西地点ではほとんど気温低下が見られない。大仙公園内と公園西側市街地内各地点の気温差を、公園西端の風向が東風（0～180°）、西風（180～360°）の別に図 16 に示す。市街地内の測定結果に一部欠測があったため、データの揃っている 2 日～5 日の 18 時～6 時のデータを用いた。市街地内の気温は、西風（海風成分）の場合にはどの地点においても 1℃程度公園より高温であるが、東風（にじみ出し成分）になると近傍 1、南西（近）、南西、緑道などで公園内の気温に近づいている。近傍 2 は公園に近いが公園との間に位置する住宅の裏側になり、南西及び南西（近）は公園から連続して自然地域が存在する地点である。緑道は両側に植物のある遊歩道（併せて幅 10m 程度）として整備されているが緑被状況は場所により様々である。このように、各地点間の気温差は周辺の建物、道路、緑などや温度計の設置状況（周囲の囲われ具合）からも影響を受けていると考えられる。

5. まとめ

大阪府内の比較的大規模な市街地内公園において冷気のにじみ出し現象に関する測定を実施した。風向、風速の移動測定の結果より、公園の中央から市街地へ放射状に風が吹き出していることを確認した。

公園西端での測定結果より、夜間にこの地域を支配している海風が弱くなると公園からのにじみ出し成分の風が確認された。その風速は 0.5m/s 程度と弱いですが、気温は急激に 2～3℃程度低下する。気温の低下は風向が変化した直後に大きいが、地域全体が東風（陸風）に支配されると小さくなり、公園内において放射冷却により生成された冷気がある程度蓄積され、海風が弱くなることをきっかけに市街地内へ流出すると考えられる。なお、密度流の簡易式によっ

ても冷気流の風速が同程度（約 0.5m/s）に算定された。

冷気の流出に伴う市街地内気温の低下効果に関しては、大仙公園周辺の市街地において、にじみ出し風向の際に公園のすぐ近傍で公園内と同程度まで低下する地点が確認されが、周辺の建物、道路、緑などの局所的な影響を強く受けていた。

謝辞 本研究は環境省の「平成 17 年度大阪府におけるヒートアイランド対策調査」及び「平成 18 年度堺市域におけるヒートアイランド現象調査」の一環で実施し、一部データを提供頂いた。国土環境株式会社の阪井氏他にはデータ提供、測定器設置にご協力頂いた。堺市の藤田氏及び日本庭園の方々には測定器の設置等にご協力頂いた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- (1) 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, 77-6, pp. 403-420, 2004
- (2) 永谷結, 梅木清, 本條毅, 菅原広史, 成田健一, 三上岳彦: 長期観測による新宿御苑のにじみ出し現象の解析, 環境情報科学論文集, 21, pp. 507-512, 2007
- (3) 神田学, 森脇亮, 高柳百合子, 横山仁, 浜田崇: 明治神宮の森の気候緩和機能・大気浄化機能の評価(1) 1996 年夏期集中測定, 天気, 44, pp. 713-722, 1997
- (4) 本條毅, 水谷敦司, 高倉直: 都市緑地が周囲に及ぼす影響の微気象観測, 農業気象, 54, pp. 323-328, 1998
- (5) 森山正和, 河野仁, 吉田篤正, 宮崎ひろ志, 竹林英樹: 都市における樹林のクールスポット効果に関する実測データ解析, 日本建築学会計画系論文集, 541, pp. 49-56, 2001
- (6) T. Katayama, A. Ishii, T. Hayashi, J. Tsutsumi: Field surveys on cooling effects of vegetation in an urban area, J. thermal biology, 18(5/6), 571-576, 1993

(Received June 6, 2008, Accepted November 18, 2008)