



# 上空気象データを用いた風通しの改善によるヒートアイランド対策効果の考察

竹林, 英樹

---

(Citation)

日本建築学会環境系論文集, 76(660):195-199

(Issue Date)

2011-02

(Resource Type)

journal article

(Version)

Version of Record

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/90001562>



## 上空気象データを用いた風通しの改善による ヒートアイランド対策効果の考察

### STUDY ON URBAN HEAT ISLAND MEASURE EFFECTS BY THE WIND EXCHANGE IN THE URBAN AREA USING UPPER WEATHER DATA

竹林 英樹\*

Hideki TAKEBAYASHI

It is considered the relationship between the wind path in the urban area and the momentum flux in surface boundary layer using upper weather data observed at Osaka tower and four towers that located between Osaka city and Higashi-Osaka city. Calculation methods for momentum and sensible heat flux and their transfer coefficients between near surface and upper air are explained according to the momentum and heat budget model in surface boundary layer. Momentum transfer coefficient is estimated with observation data at Osaka tower and four towers. The difference between daytime and nighttime is around two or three times. The differences by the year and between each tower are almost ignored. Because momentum and sensible heat flux in surface boundary layer is small in the case of relatively large wind velocity nearby the ground surface in the urban area, improving wind environment in the street is not generally compatible with improving the heat exchange characteristic of the urban area as the urban heat island measure.

**Keywords :** Urban Heat Island, Upper Weather Data, Wind path

都市ヒートアイランド, 上空気象データ, 風通し

#### 1. はじめに

ヒートアイランド現象への対策として、建築物の配置や高さなどに配慮することで地表付近の風通しを促進する方法の検討が様々に行われている<sup>1~10)</sup>。併せて、風通し促進のポテンシャルとなる海風の進入状況に注目した検討も行われている<sup>9~12)</sup>。著者は既報において上空気象データを用いて総括対流熱伝達率を算定し、ヒートアイランド対策技術導入効果を簡易に評価する方法を提案した<sup>13)</sup>。ここで、総括対流熱伝達率とは接地境界層の熱フラックスをバルク形式の輸送方程式により表現した際の輸送係数に相当するものである。同様の方法により、運動量フラックスをバルク形式の輸送方程式により表現すれば、輸送係数に相当する総括運動量輸送係数を算出することが出来る。本論文では、上空気象データを用いて算出される総括運動量輸送係数について考察を進め、ヒートアイランド対策として、建築物の配置や高さなどに配慮することによる風通し環境の改善効果の位置づけを整理することを目的とする。

様々な提案されているヒートアイランド対策技術は、①地表面被覆の改善、②風通しの促進、③人工排熱の削減、に大きく分類される。例えば CASBEE-HI<sup>14)</sup>における評価項目の大項目は、A 風通し、B 日陰、C 外構の地表面被覆、D 建築外装材、E 建築設備からの排熱、の 5 項目に分類されているが、B 日陰、C 外構の地表面被覆、

D 建築外装材は①地表面被覆の改善に統合可能である。既報で提示した上空気象データを用いたヒートアイランド対策技術導入効果の簡易評価方法の概念図（接地境界層モデル）を図 1 に再掲する<sup>13)</sup>。図 1 では、①地表面被覆の改善と③人工排熱の削減については表面からの顕熱流と人工排熱の削減量を算定することで評価され、②風通しの促進については上空への顕熱流の増加量を算定することで評価される。既報においては、①地表面被覆の改善と③人工排熱の削減に関する評価方法の事例を示し、その結果及び関連研究のレビューを通して簡易評価ツールの構築を行った<sup>15)</sup>。本論文では、②風通しの促進に関する評価方法について検討を進め、現在提案されているより多くのヒートアイランド対策技術に対して適応可能な簡易評価ツール開発の可能性を模索する。

なお、例えば CASBEE-HI の評価は、設計段階においてヒートアイランド現象に配慮した技術の選択を如何に行うかという設計者や施主の視点による評価であるのに対し、本研究はヒートアイランド対策技術を開発、提案する技術者や設計者の視点による評価を主題としている点が大きく異なる。技術者や設計者が開発、提案した技術がヒートアイランド対策に対してどの程度寄与するかをより簡易に評価することで、より良い技術の開発と普及を支援しようとするものである。

\* 神戸大学大学院工学研究科建築学専攻 准教授・博士(工学)

Assoc. Prof., Dept. of Arch., Graduate School of Eng., Kobe Univ., Dr. Eng.

## 2. 接地層の運動量及び熱フラックスモデル

一次元接地境界層モデルにおいて、接地層の運動量及び熱フラックスは式 (1), (2) のバルク輸送方程式により表わされる。

$$M = \alpha_m u_a \quad (1)$$

$$V = \alpha_c (\theta_0 - \theta_a) \quad (2)$$

$M$ は運動量フラックス ( $(\text{kg}/\text{m}^2\text{s})/(\text{m}^2\text{s})$ ),  $V$ は顕熱フラックス ( $\text{W}/\text{m}^2$ ),  $\alpha_m$ は接地層の総括運動量輸送係数 ( $\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$ ),  $\alpha_c$ は接地層の総括対流熱伝達率 ( $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ),  $u_a$ は上空の風速 ( $\text{m}/\text{s}$ ),  $\theta_0$ は地表付近の温位 ( $\text{K}$ ),  $\theta_a$ は上空の温位 ( $\text{K}$ ) である。モニンオブコフの相似則に基づき接地層の総括運動量輸送係数, 総括対流熱伝達率は式 (3), (4) で表わされる。

$$\alpha_m = \gamma \kappa^2 u_a / F_m^2 \quad (3)$$

$$\alpha_c = C_p \gamma \kappa^2 u_a / F_h F_h \quad (4)$$

$C_p$ は空気の定圧比熱 ( $=1.0\text{kJ}/\text{kgK}$ ),  $\gamma$ は空気の密度 ( $=1.2\text{kg}/\text{m}^3$ ),  $\kappa$ はカルマン定数 ( $=0.35$ ),  $F_m$ ,  $F_h$ は普遍関数の積分値 (-) である。ブジンガーの実験式を用いて普遍関数を定め  $F_m$ ,  $F_h$ を算出した<sup>16)</sup>。

非定常性の強い時間帯にはコンスタントフラックス層の存在条件が成立しない場合があり, 如何なる条件においても成立するわけではないが, 既報<sup>13)</sup>に引き続き本研究においても, この相似則がメソスケールモデルにおいて一般的に用いられている<sup>9, 10, 17)</sup>という点と, ヒートアイランド対策の検討を主目的とするとの観点より, 適用限界はあるもののこの相似則を用いることとする。なお, 本研究で用いた観測データにおいても, 午前中の海風が進入する時間帯において相対的に上下の温位差が小さくなる傾向が確認され, 伝達率が若干小さくなる様子が既報<sup>13)</sup>の考察において示されている。

## 3. 実測データより推定した接地層の総括運動量輸送係数

### 3.1 大阪タワーの観測データによる考察

上空の風速と温位に大阪タワー (120m) での観測値, 地上の温位に大阪タワー近傍の大気汚染常時監視局 (気温は建物屋上約 2m で測定) での観測値 (強制通風式) を与えて算出した接地層の総括運動量輸送係数を図 2 に示す。なお, 気温と温位の変換は既報<sup>13)</sup>と同様一律  $1^\circ\text{C}/100\text{m}$  で行った。1995 年 7 月 1 日～9 月 30 日における時刻別平均値である。粗度を 0.1m～3.0m に変化させた場合の算出結果を示している。大阪市内及びその周辺市街地の粗度は一般に 0.5m～1.5m 程度であると想定される。想定される粗度の範囲の総括運動量輸送係数は日中には 1.5～2 倍程度変化する。従って, 鉛直方向の混合が盛んになるような都市に誘導することは運動量の輸送量を増大させることに十分に寄与するといえる。既報において算出した接地層の総括対流熱伝達率も併せて示している。総括対流熱伝達率と同様に日中の総括運動量輸送係数は夜間の 2 倍程度の値となっている。同期間の総括運動量輸送係数の標準偏差を図 3 に示す。日中夜間ともに同程度の値になっており, 平均値に対する相対的なばらつきは夜間の方が大きいといえる。この点は既報で考察した総括対流熱伝達率と同様であり, 夜間の方が気象条件等により大きくばらつく傾向にあるといえる。

同期間の総括対流熱伝達率と総括運動量輸送係数の関係を図 4 に示す。式 (3), (4) の関係より普遍関数の積分値の比に応じて値にばらつきが生じているが, 鉛直方向の混合が盛んな気象条件 (上空風速及び上下温位差が大きい場合) において運動量, 熱量ともに輸

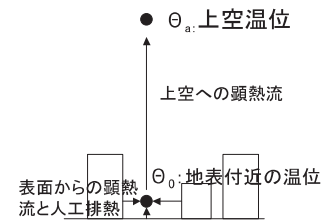


図1 接地境界層モデルのイメージ

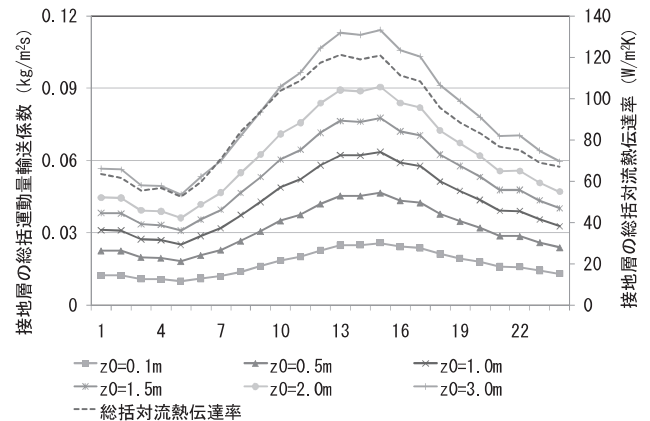


図2 大阪タワーの観測データを用いて算出した接地層の総括運動量輸送係数 (1995 年 7 月 1 日～9 月 30 日の時刻別平均)

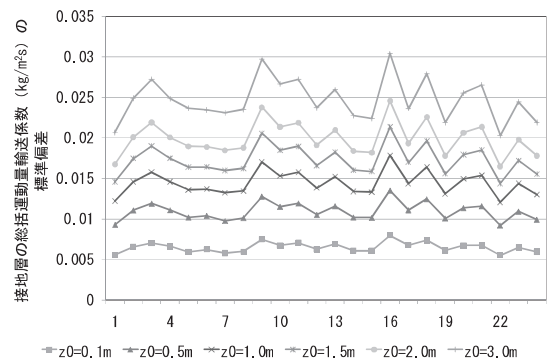


図3 大阪タワーの観測データを用いて算出した接地層の総括運動量輸送係数の標準偏差 (1995 年 7 月 1 日～9 月 30 日)

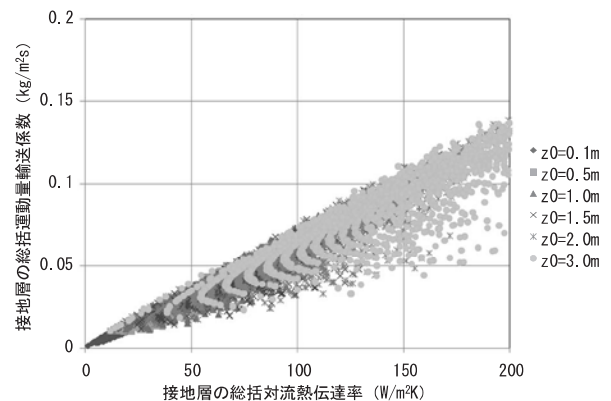


図4 大阪タワーの観測データを用いて算出した接地層の総括対流熱伝達率と総括運動量輸送係数の関係 (1995 年 7 月 1 日～9 月 30 日)

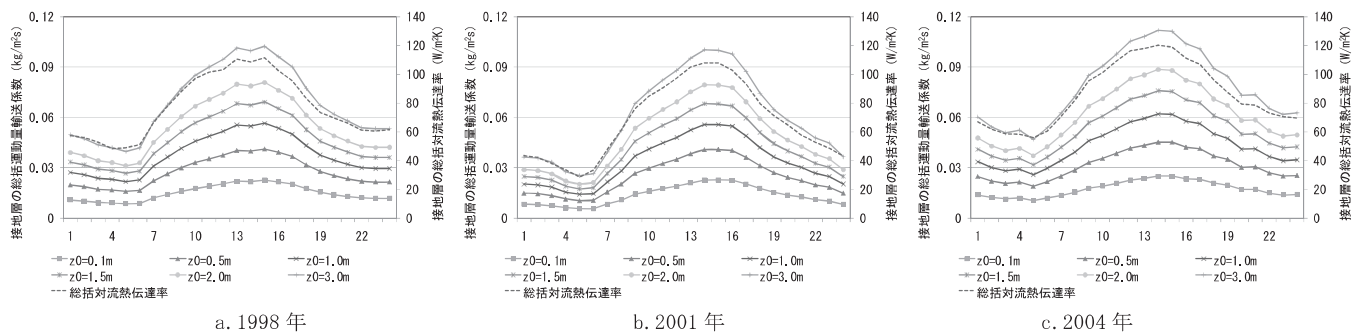


図 5 大阪タワーの観測データを用いて算出した接地層の総括運動量輸送係数（各年 7 月 1 日～9 月 30 日の時刻別平均）

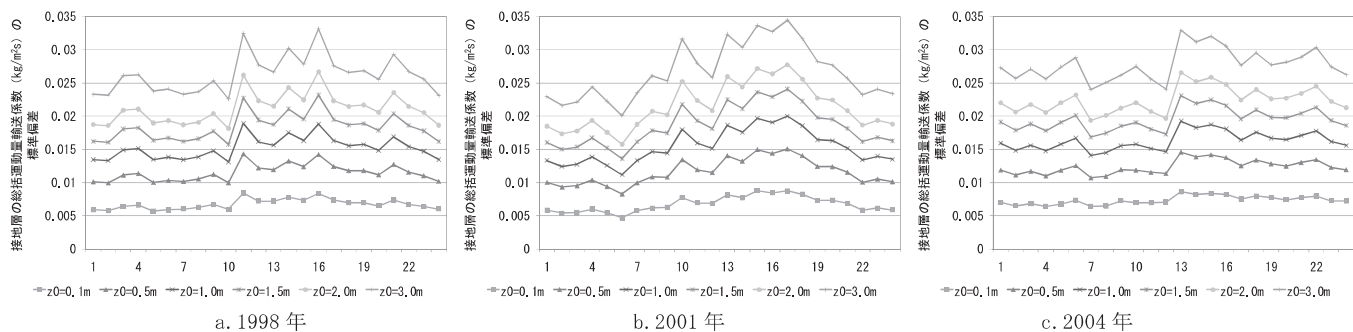


図 6 大阪タワーの観測データを用いて算出した接地層の総括運動量輸送係数の標準偏差（各年 7 月 1 日～9 月 30 日）

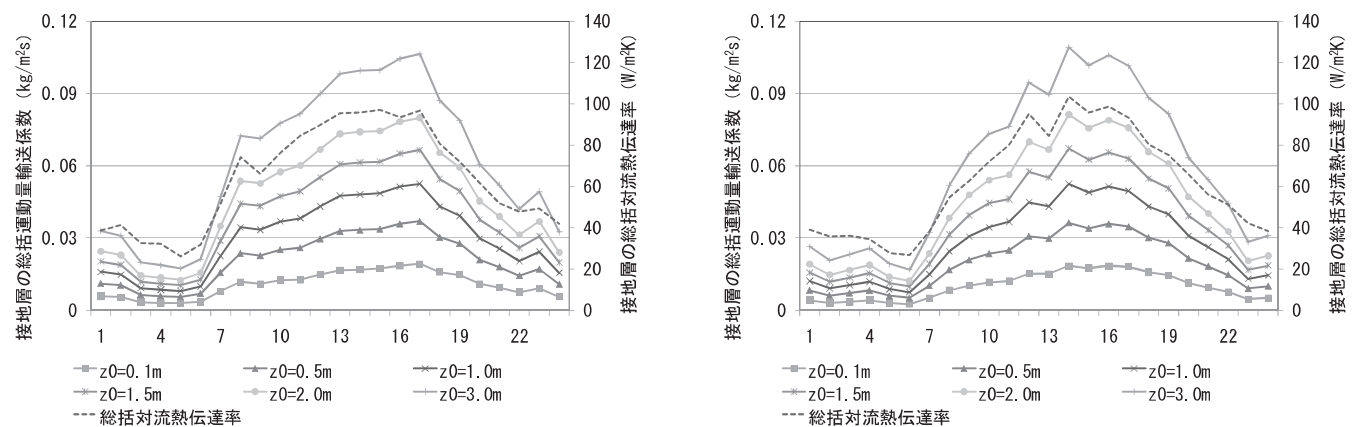
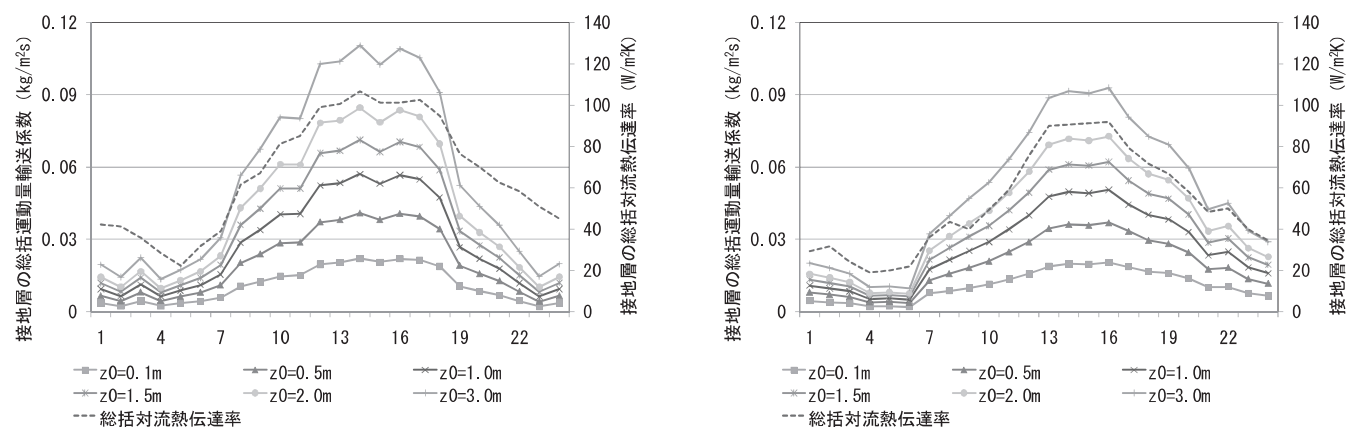
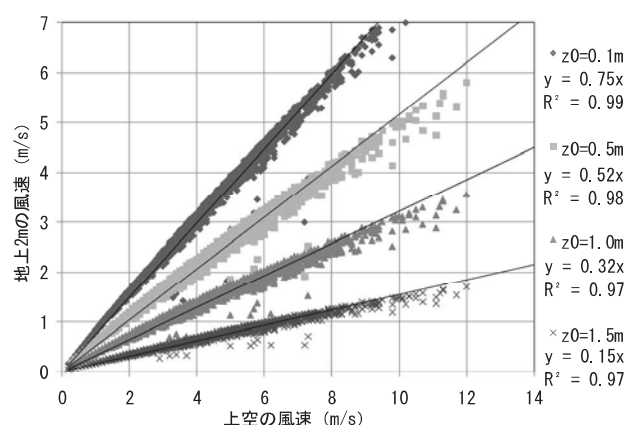
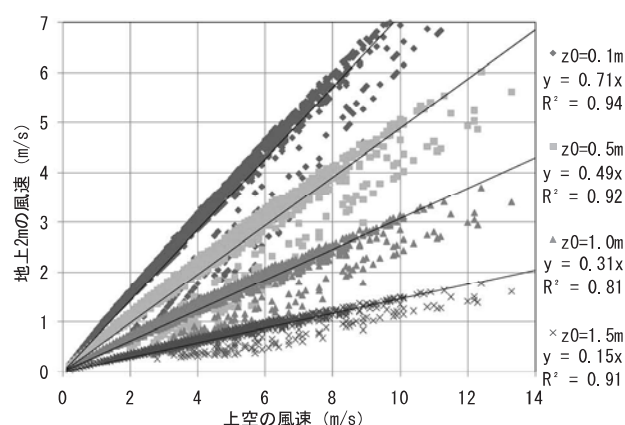


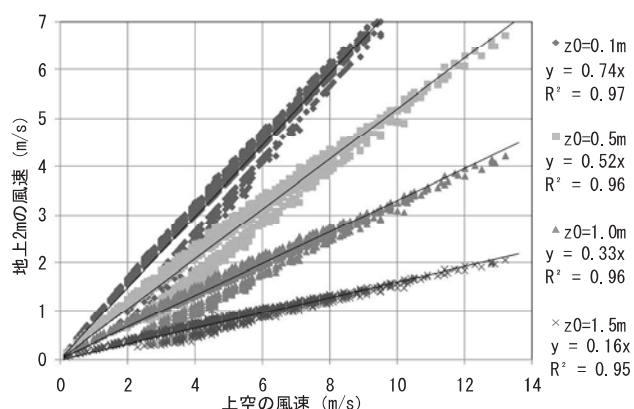
図 7 大阪平野 4 箇所の鉄塔観測データを用いて算出した接地層の総括運動量輸送係数  
（2006 年 8 月 1 日～31 日の時刻別平均）



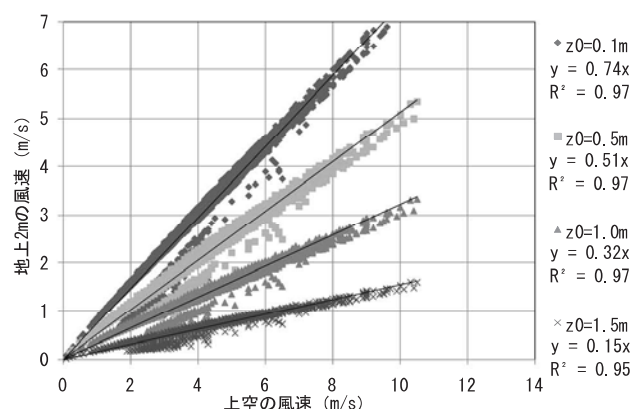
a. 1995 年 7 月～9 月の大阪タワーにおける観測結果より算出



b. 2001 年 7 月～9 月の大阪タワーにおける観測結果より算出



c. 2006 年 8 月の南港（海岸付近）における観測結果より算出



d. 2006 年 8 月の難波（都心付近）における観測結果より算出

図 8 大阪タワー及び鉄塔での総括運動量輸送係数を用いて算出した地上 2m の風速

送係数が大きくなっていることが確認される。

他の期間の算出結果として、1998 年、2001 年、2004 年の総括運動量輸送係数及び標準偏差を図 5, 6 に示す。1995 年から 10 年間のデータを用いた算出結果を確認したところ、年による違いは若干確認されたが、時刻別平均値の日変化や標準偏差の様子などはいずれの年もほぼ同様の結果になった。

### 3.2 大阪平野 4 箇所の鉄塔観測データによる考察

上空の風速と温位、地上の温位に大阪平野 4 箇所の鉄塔における観測値を与えて算出した各鉄塔での接地層の総括運動量輸送係数を図 7 に示す。測定高さは南港 57m、難波 84m、荒本 45m、石切 42.5m であり、測定点の概要は既報<sup>13)</sup>の通りである。大阪タワーの観測データを用いた推定結果とほぼ同様の傾向であるが、夜間の総括運動量輸送係数が若干小さく算出されている。既報の総括対流熱伝達率の考察においても指摘した通り、大阪タワーの観測データを用いた地上と上空の温位差が鉄塔の観測データを用いた温位差と比較して若干大きくなっていることが原因であると考えられる。大阪タワーの地上データとして用いた天満中学校、済美小学校のデータが校舎屋上面より 2m 程度の高さに観測されており屋上面の影響を受けているのではないかと考えられるのに対し、鉄塔の下側では空間代表性に配慮し周辺建築物の屋根高さ付近で観測を行った。都心に位置する難波では、鉄塔足元の市街地内の電柱等に測定器を設置し、3 箇所の平均気温を用いて空間的に代表させた。

### 4. 総括運動量輸送係数と街路空間内の風通し環境の関係

上述の方法により算出した総括運動量輸送係数を用いると式 (1) より運動量フラックスが算出される。運動量フラックスが分かれば、任意の高さの風速を推定することが可能である。推定された高さ 2m の風速と上空風速との関係を図 8 に示す。1995 年と 2001 年の大阪タワーのデータ及び 2006 年の南港と難波のデータを用いた推定結果を示しているが、他の年、他の地点においてもほぼ同様の結果が得られた。

久保田らが導出したグロス建蔽率と街区平均風速比の関係によると<sup>2)</sup>、大阪市内（グロス建蔽率 50%程度）における上空風に対する地上 2m 付近の平均的な風速比は 0.15 程度となる。この値を図 8 のプロットと照合すると、現状の大阪市内の粗度は 1.5m 程度に相当すると考察される。また、地上 2m の平均風速が上空風の 0.32 程度となる市街地であれば粗度 1.0m 程度、同様に 0.50 程度となる市街地であれば粗度 0.5m 程度に相当し、日中の総括運動量輸送係数はそれぞれ 2/3 倍、1/2 倍程度となる。このことは、図 4 より総括運動量輸送係数と総括対流熱伝達率に相関関係があることから、現実的に想定される都市空間において、地上付近の平均的な風通しが良い街区では接地層の運動量及び熱フラックスの輸送量は小さいということを示している。従って、都市全体のヒートアイランド対策として街区の熱交換特性を向上させることと、街路内の平均的な風通し環境を改善させることは一般的には両立しないということである。



著者らは本研究と同じ観測データを用いて海風の気温への影響に関する解析を行い、南港と他の測定点との温度差は日中の海風の風向の場合に2~4℃程度であると評価されたが、海風の水平方向の移流の効果は境界層全体の気温上昇抑制に寄与していると考察された<sup>12)</sup>。このような背景のもと、上空風速に対する地上2mの風速の比を用いて街路空間内の風通し環境の考察を進めてきた<sup>18,19)</sup>。地上付近の風速は空間的に大きくばらつくことが多いが、実街区における風通し環境の改善を検討する場合には、何らかの目安となる値があることが望ましい。そこで、地上2mの風速（の空間平均値）を指標として用いるならば、例えば上空風との比で0.15を基準とし、0.32、0.50程度を風通し環境改善の目安として設定することが適当ではないかと思われる。ただし、その際には街区全体の運動量、熱フラックス輸送量が2/3倍、1/2倍程度に低下することを踏まえ、地表付近に発生する熱や汚染物質に対する十分な配慮も必要となる。

## 5. まとめ

大阪タワーの10年間のデータと大阪市から東大阪市にかけた4箇所の鉄塔において観測した上空の気象データを用いて、接地層の総括運動量輸送係数について解析を進め、ヒートアイランド対策として建築物の配置や高さなどに配慮することによる風通し環境の改善効果について考察を行った。

- ・大阪タワーの過去10年間の観測データを用いて接地層の総括運動量輸送係数を算出したところ、年による傾向の違いはほぼ無視できる程度であった。
- ・鉄塔での観測データを用いて接地層の総括運動量輸送係数を算出したところ、大阪タワーのデータにより算出された値とほぼ同様の傾向にあったが、夜間の値には地上の観測条件の局所的な影響を受けている可能性が示唆された。
- ・接地層の総括運動量輸送係数と総括対流熱伝達率には相関関係があり、鉛直方向の混合が盛んになる条件（上空風速、上下温度差、粗度が大きい場合）においてこれらの値が大きくなることが考察された。
- ・算出された総括運動量輸送係数を用いて運動量フラックス、地上2mの平均的な風速を推定し、街路空間内の風通し環境との関係を考察した。現実的に想定される都市空間において、地上付近の風通しの良い街区では接地層の運動量及び熱フラックスの輸送量は小さくなるため、都市全体のヒートアイランド対策として街区の熱交換特性を向上させることと、街路内の平均的な風通し環境を改善させることは一般的には両立しないということが考察された。
- ・街路空間内の風通し環境の改善を検討する場合には、街区全体の運動量、熱フラックス輸送量の低下を考慮し、地表付近に発生する熱や汚染物質に対する十分な配慮が必要となる。

本研究は街区の平均的な風通しに注目した検討であり、都市の3次元的な幾何形状は大胆にモデル化されている。実際の街路空間内の風は周辺事物等の影響を受けて大きく変動していることは言うまでもなく、それらの詳細はCFDや風洞実験により評価される。

## 謝辞

測定器設置にあたりご協力頂いた関西電力株式会社、NTTコミュニケーションズ株式会社の関係者の皆様に謝意を表します。鉄塔へ

の測定器の設置及びデータの収集は大阪市立大学中尾研究室、大阪大学水野研究室との共同で実施したものである。本研究は科学研究費補助金若手研究B（代表：竹林英樹、20760388）、基盤研究B（代表：森山正和、20360261）の助成を受けたものである。

## 参考文献

- 1) 久保田徹、三浦昌生、富永禎秀、持田灯：実在する270m平方の住宅地における地域的な風通しに関する風洞実験、建築物群の配置・集合形態が地域的な風通しに及ぼす影響 その1、日本建築学会計画系論文集、第529号、pp.109-116、2000.3
- 2) 久保田徹、三浦昌生、富永禎秀、持田灯：風通しを考慮した住宅地計画のための全国主要都市におけるグロス建ぺい率の基準値、建築物群の配置・集合形態が地域的な風通しに及ぼす影響 その2、日本建築学会計画系論文集、第556号、pp.107-114、2002.6
- 3) 成田健一、野々村善民、小笠頭：都市表面における対流物質伝達率に関する風洞実験、都市域における建物外表面対流熱伝達率に関する実験的研究（その2）、日本建築学会計画系論文集、第527号、pp.69-76、2000.1
- 4) 足永靖信、東海林孝幸、河野孝昭：地球シミュレータを用いた東京都心10km四方における高解像度のヒートアイランド数値解析、日本建築学会環境系論文集、第616号、pp.67-74、2007.6
- 5) 萩島理、谷本潤、永山浩二、古賀正浩：高さの分布のある直方体粗度群の抗力係数に関する風洞実験、日本建築学会環境系論文集、第619号、pp.39-45、2007.9
- 6) 義江龍一郎、田中英之、白澤多一、小林剛：高層密集市街地における建物群の形態が歩行者レベルの風速・気温分布に与える影響、日本建築学会環境系論文集、第627号、pp.661-667、2008.5
- 7) 鍵屋浩司、足永靖信、増田幸宏、大橋征幹、平野洪貴、尾島俊雄：大規模な都市再開発が熱環境に及ぼす効果・影響に関する実験的検討、日本建築学会環境系論文集、第649号、pp.305-312、2010.3
- 8) 栗田剛、大場正昭：一樣建物高さ分布で直交配列された街区におけるグロス遮蔽率が熱輸送と運動量輸送に及ぼす影響について、暑熱化都市キャノピー層の熱輸送特性に関する実験的研究（その1）、日本建築学会環境系論文集、第652号、pp.509-515、2010.6
- 9) 佐々木澄、持田灯、吉野博、渡辺浩文、吉田知弘：海風が卓越する夏季晴天日における規模の異なる3つの太平洋沿岸都市、東京、仙台、原町の中心部の大気部熱収支構造の比較、気候数値解析に基づく都市気候の地域特性の定量化（その1）、日本建築学会環境系論文集、第595号、pp.121-128、2005.9
- 10) 大岡龍三、佐藤大樹、村上周三：海風の内陸部進入に関するメソスケール数値解析と平均運動エネルギー収支分析に基づく海風阻害要因の定量化、日本建築学会環境系論文集、第632号、pp.1201-1207、2008.10
- 11) 十二村佳樹、渡辺浩文：海風の夏季都市気温緩和効果に関する研究、気温の長期多点同時測定と観測風データに基づく分析、日本建築学会環境系論文集、第623号、pp.93-99、2008.1
- 12) 竹林英樹、森山正和：上空気象データを用いた海風による気温低下効果の考察、日本建築学会環境系論文集、第643号、pp.1099-1105、2009.9
- 13) 竹林英樹：上空気象データを用いたヒートアイランド対策技術導入効果の簡易評価方法の検討、日本建築学会環境系論文集、第621号、pp.57-62、2007.11
- 14) 日本サステナブル建築協会：建築環境総合性能評価システムCASBEE-HI評価マニュアル（2010年版）、建築環境・省エネルギー機構、2010.7
- 15) 竹林英樹、近藤靖史、クールルーフ適正利用WG：パブリックベネフィット評価ツールの開発、クールルーフの適正な普及のための簡易評価システムの検討（その2）、日本建築学会技術報告集、第33号、pp.589-594、2010.6
- 16) 森山正和、竹林英樹、宮崎ひろ志：一次元熱収支モデルによる夏季の都市気温シミュレーションにおける蒸発効率と人工排熱成分の推定に関する一手法、日本建築学会計画系論文集、第519号、pp.85-91、1999.5
- 17) The WRF Community: The weather research and forecasting model (WRF), <http://wrf-model.org/index.php>, 2010.11.8 参照
- 18) 竹林英樹、森山正和、三宅弘祥：気候資源としての風の利用を目的とした街路形態と街路空間の風通しの関係の分析、日本建築学会環境系論文集、第635号、pp.77-82、2009.1
- 19) 山田俊明、竹林英樹、森山正和：街路形態が街路空間の風通し環境に及ぼす影響に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、D-2、pp.769-772、2010.9

（2010年8月26日原稿受理、2010年11月8日採用決定）