



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

竹林, 英樹

(Citation)

日本建築学会環境系論文集, 72(621):57-62

(Issue Date)

2007-01-30

(Resource Type)

journal article

(Version)

Version of Record

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/90001566>



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STUDY ON A SIMPLE EVALUATION METHOD OF URBAN HEAT ISLAND
MEASURE EFFECTS USING UPPER WEATHER DATA竹林 英樹^{*1}

Hideki TAKEBAYASHI

It is considered the influence that sensible heat flux released in urban canopy layer causes to air temperature rise, using upper weather data observed at four towers that located between Osaka city and Higashi-Osaka city. Calculation methods for sensible heat flux and convection heat transfer coefficient from near surface to upper air are explained according to the heat budget model in surface boundary layer. Convection heat transfer coefficient, air temperature change with sensible heat flux change, and air temperature fall when heat island measure technology is introduced, are estimated with observation data at four towers. The difference by the year of convection heat transfer coefficient in surface boundary layer is almost ignored. The difference between daytime and nighttime of air temperature change with sensible heat flux change is around two or three times. This difference between towers is few.

Keywords: Urban Heat Island, Upper Weather Data, Heat Budget Model

都市ヒートアイランド, 上空気象データ, 熱収支モデル

1. はじめに

ヒートアイランドの対策技術の開発は様々な分野で検討が進められており、各技術の特徴が徐々に明らかになってきている^{1), 2)}。現在提案されている対策技術は、緑化の推進、高反射化、蒸発の促進、人工排熱の削減、風通しの改善、などに大別される³⁾。ただし、現状ではこれらの対策技術の評価方法が定まっておらず、個々の技術を導入することで得られた効果を測定可能な範囲（ある時間、空間での表面温度や気温など）で示している程度のものである。従って、今後のヒートアイランド対策技術の普及、適材適所の選択、より良い技術の開発に向けて、対策技術導入効果の評価方法を整備する必要があると考えられる。

これらの技術を実際に導入した場合のヒートアイランド緩和効果の予測に関しては、主に数値シミュレーションを用いた多くの研究が行われている^{3), 4)}。しかし、これらの数値シミュレーションを個々の対策技術の評価ごとに実施するには多くの負荷がかかるため現実的ではない。

この課題に対し、鳴海ら⁵⁾はメソスケールの数値シミュレーションにより、大気顕熱負荷（地表付近からの顕熱流）が気温変化に及ぼす影響について検討を行い、ヒートアイランド対策技術を導入する場所（都心、郊外）、時間、高さ、規模と導入効果（気温低下量）との関係を明らかにしている。ただし、この結果は数値シミュレーションの仮定に基づくものであり、特に大気顕熱負荷と

気温の関係は安定度関数に依存するため、実測データ等による結果の検証、裏づけが必要であると考えられる。

ヒートアイランド対策技術の評価に現在広く用いられているメソスケールの気象シミュレーションモデル^{6), 7)}では、3次元の流体力学モデル（乱流モデル）の下層に一次元接地境界層モデルが接合され、地表面における熱収支の検討の結果、大気（3次元の流体力学モデル）へ与えられる運動量、熱、水蒸気等のフラックスが決定されている。最近では接地境界層モデルに都市キャノピーモデルを組み込むことでフラックスの精度向上が図られている^{8), 9), 10)}。

図1に一般的なメソスケールモデルの構成（3次元の流体力学モデルと接地境界層モデル）のイメージを示す。ここで、建築、都市環境工学分野において主要なアウトプットとして利用される地表付近の気温や風の計算結果は、3次元の流体力学モデルにより計算された、流体モデルにおいては最下端の気象要素（風速、気温など）を上側の境界条件とし、地表面熱収支を下側の境界条件として、一次元接地境界層モデルを介して求められる。従って、仮に接地境界層モデルの上側境界条件として利用することが可能な上空の気象データが、対象とする領域において全て（一般的なメソスケールモデルの解像度である1kmメッシュ程度を想定）得ることが出来れば、3次元の流体力学モデルを解かなくとも、地表付近の気温分布は一般的なメソスケールモデルと同様の精度で算出できることになる。本研究では、流体力学モデルを解かなくとも評

本研究の一部は、2006年度日本建築学会大会（関東）⁹⁾において発表した。^{*1} 神戸大学大学院工学研究科建築学専攻 助教・博士（工学）

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

価出来るという点より、この方法を簡易評価方法と呼ぶ。実際には、上空の気象データを高い空間解像度で得ることは困難なため、数値シミュレーションに頼らざるを得ないのが実情である。

本研究では、図1に示すように接地境界層モデルの上側境界条件、つまり3次元の流体力学モデルにおける最下端の気象要素を直接観測することを目的として、上空気象データの観測を行った。具体的には、大阪平野の西端（大阪市）から東端（東大阪市）にかけて4箇所の鉄塔（電力会社及び電話会社の協力による）に測定器を設置して測定を実施した。これらのデータを接地境界層モデルの上側境界条件として利用し、地表付近で発生した顕熱流がどの程度上空へ伝わり、どの程度周辺空気を暖めているかという点に注目して考察を行う。

図2と表1に鉄塔を用いた上空気象測定の概要を示す。大阪湾に近い南港から内陸へ向かって難波、荒本、石切の4地点である。気象測定装置は鉄塔の南側に設置し、この地域の夏季の主風向である東西方向の風（海陸風）に対する鉄塔自体の影響を少なくしている。気象測定装置は太陽光発電装置、蓄電池と記憶装置を持ち、地上との無線通信により定期的にデータを回収する。観測データの詳細については別途報告している¹¹⁾。

2. 接地境界層の熱収支モデルの概要

一次元接地境界層モデルにおいて、接地層の顕熱流は式(1)で表される¹²⁾。

$$V = \alpha_c (\theta_0 - \theta_a) \quad (1)$$

V は顕熱流 (W/m^2)、 α_c は接地層の総括対流熱伝達率 (W/m^2K)、 θ_0 は地表付近の温位 (K)、 θ_a は上空の温位 (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対流熱伝達率は式(2)で表される¹²⁾。

$$\alpha_c = \frac{C_p \kappa^2 u_a}{F_m F_h} \quad (2)$$

C_p は空気の定圧比熱 ($=1.0 kJ/kgK$)、 γ は空気の密度 ($=1.2 kg/m^3$)、 κ はカルマン定数 ($=0.35$)、 u_a は上空風速 (m/s)、 F_m 、 F_h は普遍関数の積分値 (-) である。ブッシンガーの実験式を用いて普遍関数を定め F_m 、 F_h を算出する¹²⁾。

実際の都市空間におけるこの相似則の適用については、熱の輸送に関しては適用範囲が広いことが指摘されている^{13)、14)}。ただし、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可能性が高く、如何なる条件においても成立するわけではない¹⁵⁾。本研究では、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という点と、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を主目的とするという観点より、適用限界はあるもののこの相似則を用いることとする。

パラメータとなるのは、上空風速 u_a と地表面粗度 z_0 (m) および上空と地上の温位差 $\theta_0 - \theta_a$ である。上空の風速と温位、地上の温位に鉄塔での観測値を与え、粗度を $1.5m$ と仮定し、 α_c を得る。粗度については、建物高さ、密度、見付面積などの幾何学的特徴、及び、摩擦速度などの乱流統計情報より算定する方法が提案されているが¹⁶⁾、ここでは文献¹⁶⁾を参考に仮定した。

このモデルのイメージを図3に示す。建築物や道路表面からの顕熱流と建築物や自動車などからの人工排熱としての顕熱流が地

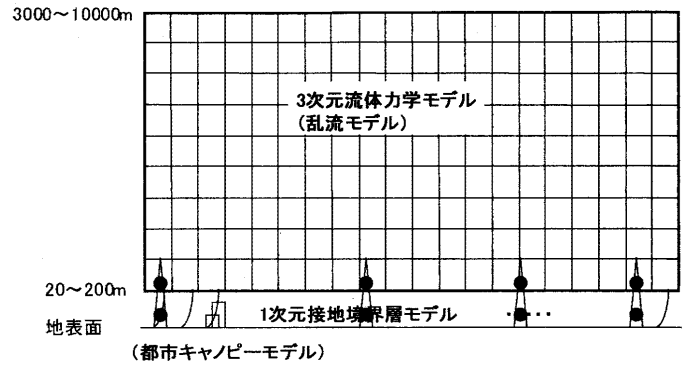


図1 一般的なメソスケールの気象シミュレーションモデルの構成のイメージ及び鉄塔での観測のイメージ

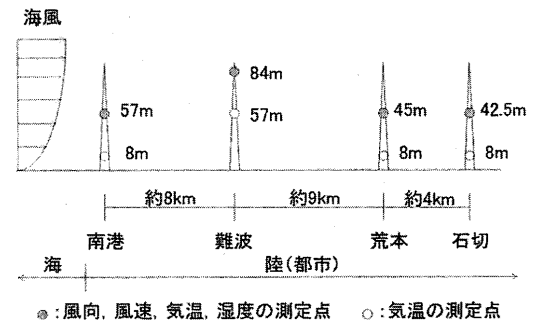


図2 鉄塔を用いた上空気象測定の概要

表1 鉄塔を用いた上空気象測定の概要

地点名	測定器	測定開始日	測定間隔
南港	ウェザーバケット サーモレコーダーミニ（サーミスタ）+自然通風シェルター9葉	2006/5/25~	10分
難波	風向風速計（風車型）+温度湿度計（温度：Pt1000，湿度：静電容量式）+自然通風シェルター12葉 温度湿度計（温度：Pt1000，湿度：静電容量式）+自然通風シェルター12葉	2005/11/29~	10分
荒本	ウェザーバケット サーモレコーダーミニ（サーミスタ）+自然通風シェルター9葉	2006/5/25~	10分
石切	ウェザーバケット サーモレコーダーミニ（サーミスタ）+自然通風シェルター9葉	2006/5/25~	10分

ウェザーバケットは気温、相対湿度、露点温度、降水量、気圧、日射量、風速、風向を測定する。気温、湿度は強制通風式、風速、風向は超音波方式。

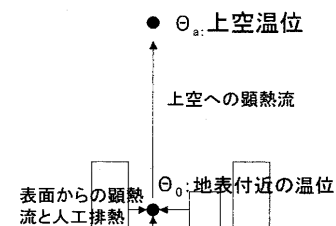


図3 接地境界層モデルのイメージ

表付近で放出され、上空へ熱が輸送される。表面からの顕熱流と人工排熱が少ない場合、及び、上空へ輸送される顕熱流が大きい場合（熱が地表付近に滞留しない場合）に、地表付近の気温が低く保たれることになる。

3. 実測データより推定した接地層の総括対流熱伝達率

3.1 大阪タワーの観測データによる経年変化の考察

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）を与えて推定した接地層の総

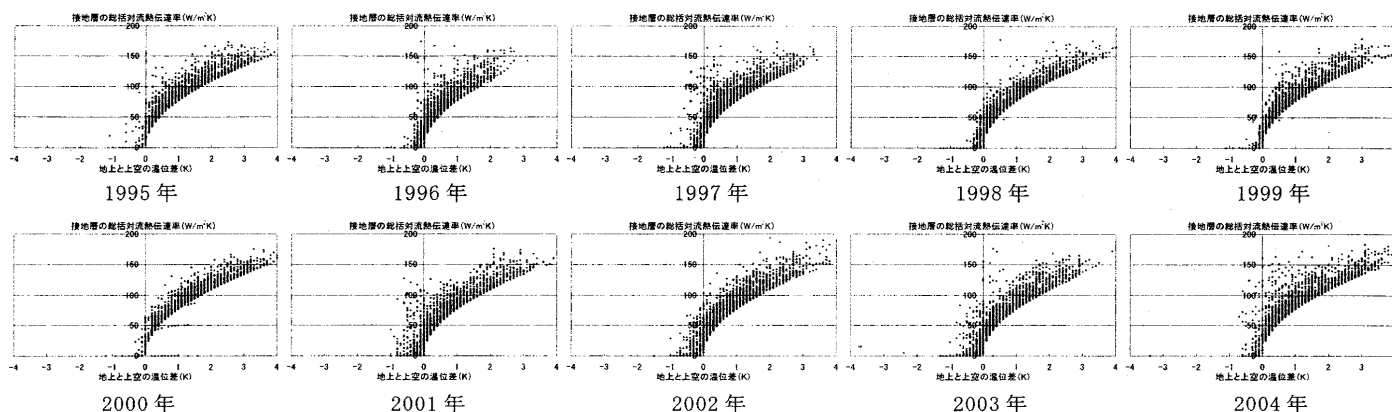


図4 大阪タワーの観測データを用いた地上と上空の温位差と接地層の総括対流熱伝達率の関係（各年7月1日～9月30日）

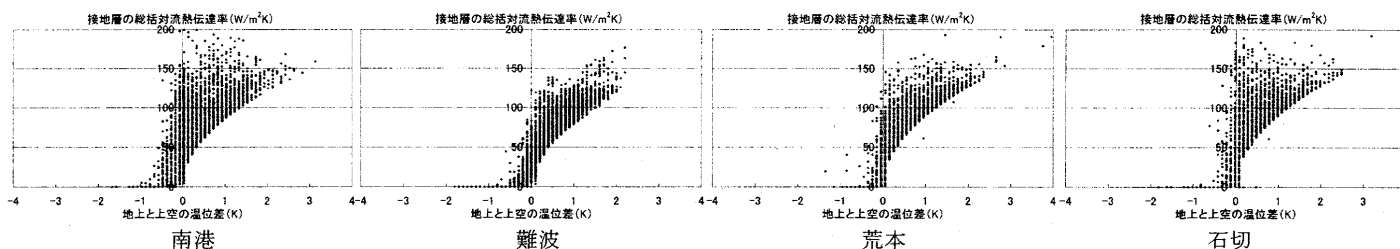


図5 鉄塔の観測データを用いた地上と上空の温位差と接地層の総括対流熱伝達率の関係（2006年8月1日～31日）

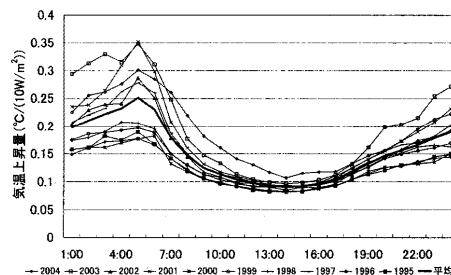
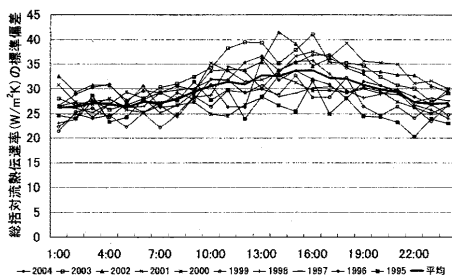
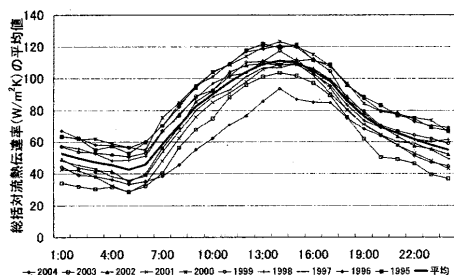


図6 総括対流熱伝達率時刻別平均（大阪タワー） 図7 総括対流熱伝達率標準偏差（大阪タワー） 図8 終日10W/m²の発熱を付加した場合の気温上昇量（大阪タワー）

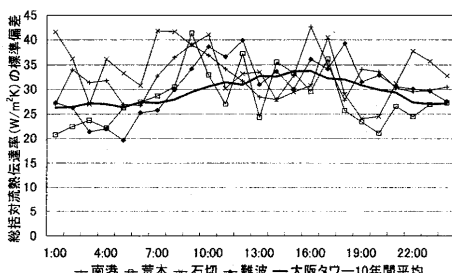
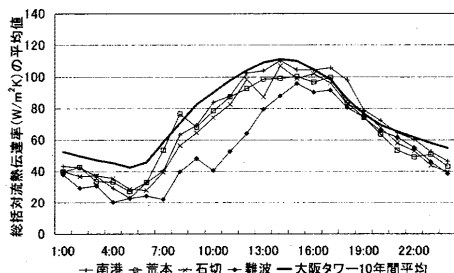


図9 総括対流熱伝達率の時刻別平均値（鉄塔） 図10 総括対流熱伝達率の標準偏差（鉄塔）

括対流熱伝達率を図4に示す（横軸は上下温位差）。なお、気温と温位の変換は一律1℃/100mで行った。地上の測定点は、1997年までは天満中学校で、1998年以降は済美小学校に移設されたが傾向はほぼ同じである。年による傾向の違いはほぼ無視できるのではないかと考えられる。

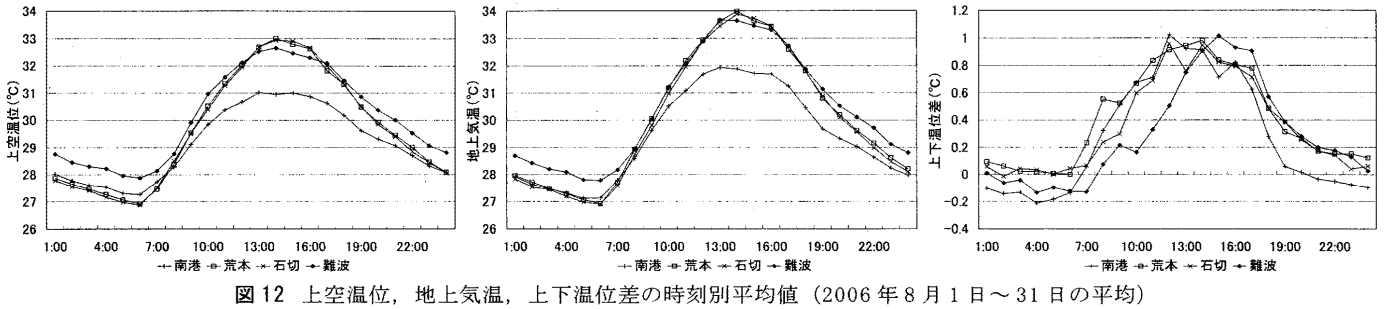
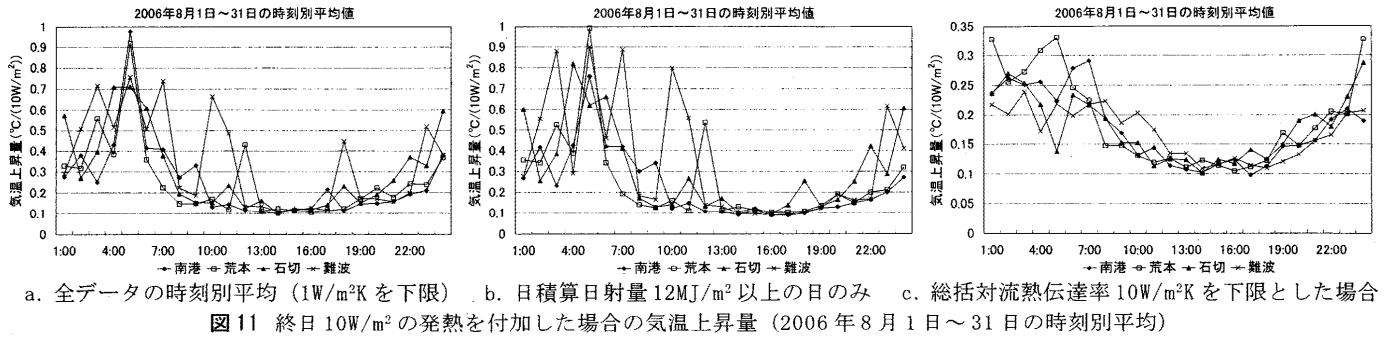
3.2 鉄塔の観測データによる推定結果

上空の風速と温位、地上の温位に鉄塔での観測値を与え、粗度を1.5mと仮定して推定した各鉄塔での接地層の総括対流熱伝達率を図5に示す（横軸は上下温位差）。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。南港において上下温位差が小さくても比較的大きな総括対流熱伝達率になっているのは、

出来るように、7月～9月の全データを用いた。

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最大4℃程度に達するのにに対し、鉄塔の観測データを用いた温位差は最大2～3℃程度になっている。この理由は解析対象期間（大阪タワー：7～9月、鉄塔：8月のみ）が異なる点も考えられるが、天満中学校、済美小学校のデータが校舍屋上面より2m程度の高さで観測されており、屋上面の影響を受けて若干高温になっているのではないかと考えられる（空調機の室外機の影響も若干懸念される）。それに対し、鉄塔の下側では、気温の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。また、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

上空風速が大きいためであると考えられる。なお、2006年の近畿地域の梅雨明けは当初7月30日頃と発表され、後に27日頃と修正されたが、ほぼ7月中は梅雨前線の影響を受けていたと考えられるため、8月を検討の対象とした。上述の大阪タワーの観測データを用いた検討では夏季の平均的な状況が考察



均気温を用いて空間的に代表させた。

4. 総括対流熱伝達率を用いた気温上昇量の考察

4.1 大阪タワーの観測データによる考察

上述の方法により推定した総括対流熱伝達率の7月1日～9月30日における時刻別平均値及びその標準偏差を図6,7に示す。総括対流熱伝達率の平均値は、日中 100W/m²K 程度、夜間 50W/m²K 程度となっているが、標準偏差が大きくデータのばらつきが大きい。特に、夜間の平均値が 50W/m²K 程度であるのに対し、標準偏差が 30W/m²K 程度となり、気象条件等により大きくばらついている。

ここで、地表付近に付加的に発熱量 ΔV (W/m²) が与えられた場合の気温上昇量 $\Delta \theta$ (K) について考察する。この場合の上空への顕熱流は式(3)で表される。ここで、 α_c' は $\Delta \theta$ の影響で変化するため、収束計算により α_c' と $\Delta \theta$ を求める必要がある。

$$V + \Delta V = \alpha_c' \{(\theta_0 + \Delta \theta) - \theta_a\} \quad (3)$$

ΔV が V と比較して十分に小さければ、 $\alpha_c' = \alpha_c$ と仮定され、式(1)と式(3)より式(4)となる。

$$\Delta \theta = \Delta V / \alpha_c \quad (4)$$

本研究ではヒートアイランド対策技術の評価を想定しているため ΔV は負値をとり $\alpha_c' < \alpha_c$ となる。従って、式(4)により算定される $\Delta \theta$ は過小評価(安全側)されることになる。また、現実のヒートアイランド対策技術を想定すると、対策を施す前の V が大きい場合に ΔV が大きくなる可能性が高い(日中)が、その場合には α_c' 、 α_c ともかなり大きな値となるため、式(4)による誤差は小さい。これらの観点より本研究では計算の簡易化のため式(4)を採用することとする。

図6の総括対流熱伝達率を用いて式(4)により 10W/m² の付加発熱量を付加した場合の気温上昇量を図8に示す。総括対流熱伝達率が小さい場合に付加発熱量に対する気温上昇量が多い。同じ付加発熱量に対し、日中と夜間で2～3倍程度気温上昇量が異なる。

但し、夜間の総括対流熱伝達率の標準偏差が大きいため、平均

的な総括対流熱伝達率 50W/m²K に対し、仮に 20W/m²K になると、気温上昇量は 0.2°C/(10W/m²) から 0.5°C/(10W/m²) に変化するというように大きく変化する。従って、夜間は大気安定度の微妙な変化で、単位発熱量に対する気温上昇量が大きく変化しているといえる。

4.2 鉄塔の観測データによる考察

鉄塔の観測データより推定した総括対流熱伝達率およびその標準偏差を図9,10に示す。大阪タワーの観測データによる10年平均値と比較すると、難波において午前中に小さくなっている。この理由は後で考察するように、上下の温位差が他の測定点と比較して小さくなっているためであると考えられる。この時間帯は海風が進入してくる時間帯に相当し非定常性が強い、コンスタント・フラックス層の存在条件が成立していない可能性が高い。この条件では、海風の進入に伴う相対的に大きなスケールの乱れにより熱が輸送されていると考えられ、本手法では上下温位差が小さいために対流熱伝達率が小さく算定されているが、実際には逆に大きな熱の輸送効率になっていると考えられる。従って、実際には他の鉄塔の対流熱伝達率と同程度の値を用いる方が適当であるかもしれない。時刻別の標準偏差に関しては、サンプル数が少ないために全体的にばらつきが大きい、大阪タワーの観測データによるものと同様の傾向にある。

この総括対流熱伝達率を用いて、同様の方法により気温上昇量を算定した結果を図11aに示す(総括対流熱伝達率 1W/m²K を下限とした)。日中に小さく、夜間に大きい傾向は示されているが、夜間のばらつきが大きい。天候の影響を考慮するため、日積算日射量 12MJ/m² 以上の日のみを抽出し、晴天日のみで算定した結果を図11bに示す。夜間のばらつきは解消されず、サンプル数が減ったために全体的にばらつきが大きくなっている。このばらつきは、付加発熱量を 0 に近い総括対流熱伝達率で除すことが原因であると考えられるため、総括対流熱伝達率 10W/m²K を下限とした場合の算定結果を図11cに示す。0 に近い値で除すことの影響が小さくなり、比較的安定した時刻変動になっていると考えられる。安定した気

表2 熱収支の計算に用いたパラメータ

	アスファルト	コンクリート	屋上緑化(芝生)	高反射率塗料白色	高反射率塗料灰色	保水性アスファルト	保水性コンクリート	保水性ブロック
アルベド(-)	0.044	0.357	0.15	0.74	0.36	0.37	0.153	0.233
蒸発効率(-)	0	0	0.14	0	0	0.084	0.029	0.035
熱伝導率(W/mK)	0.84	1.59	0.6	1.59	1.59	0.87	0.99	0.65
熱容量(J/m ² K)	700000	100000	2900000	100000	100000	1500000	500000	300000

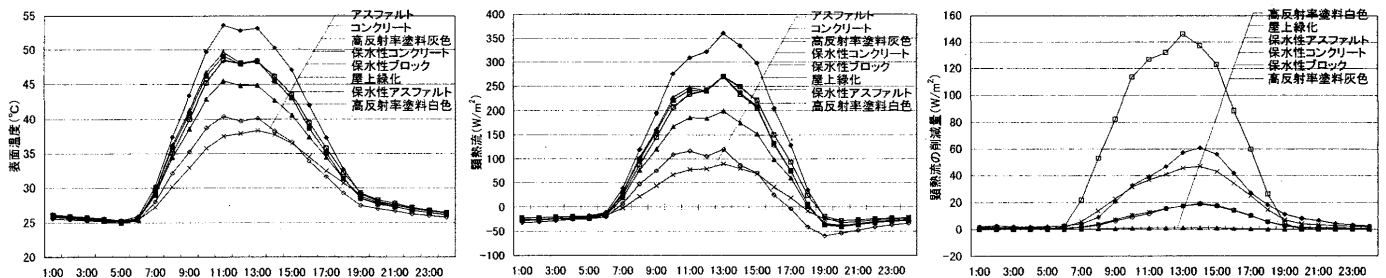


図11 表面温度、顕熱流、顕熱流の削減量の計算結果(2006年8月1日～8月31日の時刻別平均)

象条件の場合には、総括対流熱伝達率を用いて気温変化量を算定することには限界があるといえる。大阪タワーの観測データを用いた場合と同様に、10W/m²の付加発熱量に対し、日中約0.1℃、夜間約0.2～0.3℃の気温上昇量が読み取れる。気温上昇量の鉄塔間での差は上記において議論を行った難波の午前中を除いてあまりないといえる。

この理由について考察するために、図12に各測定点(鉄塔)の上空温位、地上気温、上下温位差の2006年8月1日～31日の時刻別平均値を示す。南港と他の測定点との間で、上空温位、地上気温は日中2℃程度の差が生じているが、上下温位差にはほとんど差がない。海岸付近の南港では海風の影響により上空温位、地上気温ともに上昇が抑制されており、結果として上下温位差は海岸部と内陸部でほぼ同じ値になっている。従って、全ての測定点において総括対流熱伝達率は同程度に推定され、その結果気温上昇量の場所による差も小さくなっていると考えられる。

5. 気温上昇量を用いたヒートアイランド対策導入効果の算定

上述の方法で求めた気温上昇量を用いて、ヒートアイランド対策技術を導入した場合の気温低下量の推定について考察を行う。ヒートアイランド対策技術の項目としては、主に被覆系技術を対象とし、従来の研究^{17),18)}よりパラメータ(表2)を設定して、被覆に関するヒートアイランド対策技術を導入した場合の顕熱流の削減量の算定を行った^{17),18)}。算定結果の表面温度、顕熱流、顕熱流の削減量を図11に示す。60%をコンクリート、40%をアスファルトで構成されている都市を想定し、ヒートアイランド対策技術としてコンクリート部分が全て屋上緑化、高反射塗料白色、高反射塗料灰色に、アスファルト部分が全て保水性アスファルト、保水性コンクリート、保水性ブロックに変更された場合を想定して顕熱流の削減量を算定した。ただし、ここでは建築物相互の関係(日射遮蔽や相互放射の影響等)は考慮されていない。

この結果を昼夜別に整理すると表3になる。この値と上述の単位発熱量を与えた場合の気温上昇量の値を用いて、昼夜別に気温低下量を算出した結果を表4,5に示す。被覆に関する対策技術のため、夜間における顕熱流の削減量が小さく、気温低下量も小さくなっている。仮に夜間に一律10W/m²の人工排熱が削減されれば、南港で0.21℃、難波で0.19℃気温が低下することになる。

表3 昼夜別顕熱削減量(W/m², 日中:7～18時, 夜間:19～6時)

	屋上緑化	高反射率塗料白色	高反射率塗料灰色	保水性アスファルト	保水性コンクリート	保水性ブロック
日中	34.5	92.6	0.73	30.1	11.2	11.0
夜間	4.21	0.58	0.00	2.57	1.02	1.10

表4 南港の昼夜別気温低下量(℃, 日中:7～18時, 夜間:19～6時)

	屋上緑化	高反射率塗料白色	高反射率塗料灰色	保水性アスファルト	保水性コンクリート	保水性ブロック
日中	0.42	1.19	0.01	0.38	0.14	0.13
夜間	0.08	0.01	0.00	0.05	0.02	0.02

表5 難波の昼夜別気温低下量(℃, 日中:7～18時, 夜間:19～6時)

	屋上緑化	高反射率塗料白色	高反射率塗料灰色	保水性アスファルト	保水性コンクリート	保水性ブロック
日中	0.48	1.37	0.01	0.43	0.16	0.15
夜間	0.07	0.01	0.00	0.04	0.02	0.02

6. 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て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、地表付近で発生した顕熱流が周辺空気の気温上昇に及ぼす影響について考察した。結果は以下のとおりである。

- ・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対流熱伝達率を算出したところ、年による傾向の違いはほぼ無視できると考えられる。
- ・鉄塔での接地層の総括対流熱伝達率を算出したところ、南港において上下温位差が小さくても若干大きい総括対流熱伝達率が確認されたが、これは海風の影響で風速が大きい時間帯があるためだと考えられる。また、難波において午前中他より小さい対流熱伝達率となった。この時間帯は海風が浸入してくる時間帯に相当し非定常性が強い、コンスタント・フラックス層の存在条件が成立していない可能性が高く、実際には大きな熱の輸送効率になっていると考えられる。
- ・算出された総括対流熱伝達率を用いて任意の付加発熱量に対する気温上昇量を算出したところ、同じ付加発熱量に対して日中と夜間で2～3倍程度の気温上昇量の違いが確認された。ただし、夜間は大気安定度の微妙な変化で、単位発熱量に対する気温上昇量が大きく変化するため、条件によっては日中の気温上昇量の5倍程度になる可能性もある。
- ・鉄塔での単位付加発熱量に対する気温上昇量を比較したところ、鉄塔間の差は海風の進入に伴う非定常性の強い時間帯を除いてほ

とんどない結果になった。この理由は、海岸付近の南港では海風の影響により気温上昇が抑制されるが、上空温位、地上気温が同程度影響を受けるため、結果として上下温位差は海岸部と内陸部でほぼ同じ値になり、総括対流熱伝達率も同程度に推定されたためであると考えられる。

- ・主に被覆系のヒートアイランド対策技術を導入した場合の顕熱流の削減量を算定し、その結果を用いて気温低下量を昼夜別に算出した結果を示した。

本研究で提示した方法により、緑化の推進、高反射化、蒸発の促進などの被覆系の対策技術と同時に、人工排熱の削減技術に関しても、簡易な方法で比較評価が出来ると考えられる。今後は、どの程度のヒートアイランド対策効果を目的とするかについて、ヒートアイランド化による人間、社会に対する悪影響（生態系への影響やエネルギー消費量の増加など）、対策技術導入に伴う費用、等を考慮して行政を含めた議論が必要であると考えられる。

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。本研究は空気調和・衛生工学会近畿支部都市平熱化委員会の活動の一環として実施した。（財）国土技術研究センター平成17年度研究開発助成の支援を受けた。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。

参考文献

- 1) 森山正和編：ヒートアイランドの対策と技術，学芸出版社，2004.8
- 2) 大阪ヒートアイランド対策技術コンソーシアム：ヒートアイランド対策技術情報集，2007.2
- 3) 持田灯：重要論文のレビューとリスト 都市気候変動，日本建築学会総合論文誌，No.1，pp.128-133，2003
- 4) 大岡龍三：ヒートアイランド研究の状況，空気調和・衛生工学，Vol.79，No.5，pp.369-376，2005.5
- 5) 鳴海大典，羽原勝也，近藤明，下田吉之，水野稔：都市熱環境緩和を目的とした大気熱負荷評価システムの開発 その1 大気熱負荷排出条件の違いが地表付近の気温変化に及ぼす影響，空気調和・衛生工学論文集，No.117，pp.11-19，2006.12

- 6) The University Corporation for Atmospheric Research: The PSU/NCAR mesoscale model (MM5), <http://www.mmm.ucar.edu/mm5/>
- 7) The WRF Community: The weather research and forecasting model (WRF), <http://wrf-model.org/index.php>
- 8) V. Masson: A physically-based scheme for the urban energy budget in atmospheric models, *Boundary Layer Meteorology*, 94, pp.357-397, 2000.3
- 9) H. Kusaka, H. Kondo, Y. Kikegawa and F. Kimura: A simple single-layer urban canopy model for atmospheric models: Comparison with multi-layer and slab models, *Boundary Layer Meteorology*, 101, pp.329-358, 2001.12
- 10) H. Kondo, Y. Genchi, Y. Kikegawa, Y. Ohashi, H. Yoshikado, H. Komiyama: Development of a multi-layer urban canopy model for the analysis of energy consumption in a big city: Structure of the urban canopy model and its basic performance, *Boundary Layer Meteorology*, 116, pp.395-421, 2005.9
- 11) 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に関する考察，日本建築学会近畿支部研究報告集，pp.257-260，2007.6
- 12) 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，519，pp.85-91，1999.5
- 13) 森脇亮，神田学，木本由花：都市境界層における乱流プロファイルの大気安定度依存性，土木学会水工学論文集，47，pp.1-6，2003.3
- 14) 森脇亮，神田学，木本由花：都市境界層における風速・温度のシア関数，土木学会水工学論文集，48，pp.139-144，2004.3
- 15) 渡邊倫樹，森脇亮，神田学，松永和章：都市域におけるコンスタント・フラックス層の存在条件について，土木学会水工学論文集，46，pp.79-84，2002.3
- 16) 森脇亮，神田学，渡邊倫樹，松永和章：都市域の陸面パラメーターの算定，土木学会水工学論文集，46，pp.91-96，2002.3
- 17) H. Takebayashi, M. Moriyama: Surface heat budget on green roof and high reflection roof for mitigation of urban heat island, *Building and Environment*, 42, pp.2971-2979, 2007.8
- 18) 佐野公俊，森山正和，竹林英樹，古橋省吾，君島健之，西岡真稔，鍋島美奈子：環境配慮型舗装の熱収支解析とそれによるヒートアイランド緩和効果に関する研究，空気調和・衛生工学会近畿支部学術研究発表会論文集，pp.199-202，2006.3

本論文に関連する既発表論文

- i) 竹林英樹，森山正和：上空気象データを用いたヒートアイランド対策技術による緩和効果の簡易評価法に関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集，D-1，pp.569-570，2006.9

(2007年5月7日原稿受理，2007年8月20日採用決定)