

# スケールモデルによる都市キャノピーのエネルギー交換過程に関する野外実験

## その2. アナロジーの検証と構成面別のフラックス寄与率

正会員 ○成田健一\*  
同 武藤 順\*\*

都市気候 熱収支 対流熱伝達率  
蒸発 市街地風 バルク係数

### 1. 序

前報<sup>1)</sup>に引き続き、スケールモデル街区を用いた自然風下での熱輸送実測に関して報告する。対象としたスケールモデル街区は、15cm 角のコンクリート立方体を 15cm 間隔（グロス建蔽率 25%）で整形配列したもので、12m 四方のコンクリート平板（厚さ 15cm）上に 40 列×40 列が並べられている。平板表面にはタークグレーの塗装が施してありアルベドは約 0.16、コンクリート立方体は打ち放し状態（材質は平板と同一）でアルベドは約 0.45 となっている。本報では、前報の濾紙面蒸発法と比較するために行った熱収支法による構成面別の熱輸送バルク係数の測定結果と、街区平均の顕熱フラックスおよびエアフラックスに対する各構成面の寄与率について報告する。

### 2. 熱輸送バルク係数と物質輸送バルク係数の比較

15cm 角の熱流板を屋上面・壁面 4 面・床面 3 面の計 8 面に貼り付け各構成面別に伝導熱流( $G$ )を測定した。熱流板の表面には同質のモルタルを薄く塗り、床面に関してはさらに塗装を施し周囲表面と同化させた（図 1）。各構成面について熱流板で測定している伝導 flux( $G$ )と、多重反射を考慮した放射モデル計算<sup>2)</sup>から求めた正味放射量( $Rn$ )より、熱収支式の残差  $H=Rn - G$  として構成面から輸送される顕熱 flux( $H$ )を算出した。次に、この構成面別の  $H$  と構成面の表面温度( $T_s$ )および気温( $T_a$ )から、面別の熱輸送のバルク係数  $C_H$  を算出した。

$$H = c_p \rho C_H U (T_s - T_a) \quad [W/m^2]$$

$c_p \rho$ : 空気の体積熱容量 [J/m<sup>3</sup>·K]     $C_H$ : バルク係数 [無次元]

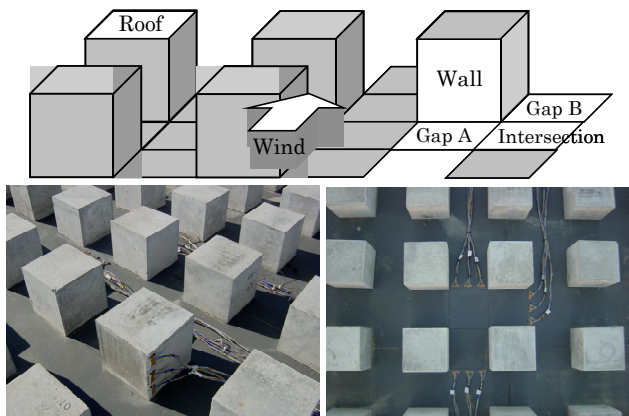


図 1. 熱流測定面と熱流板の埋設状況

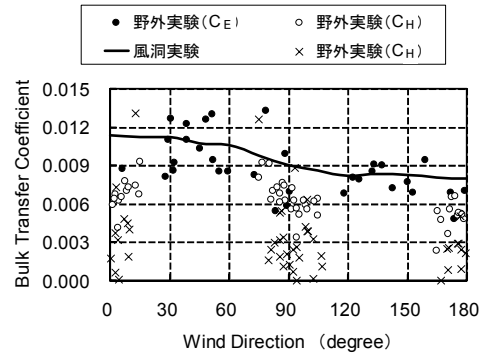


図 2. アナロジー検証（バルク係数の風向依存性の比較）

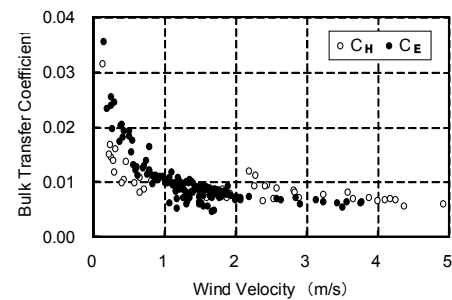


図 3. 屋上面バルク係数の風速依存性の比較

風向による変化がもっとも顕著に現れると考えられる壁面について、濾紙面蒸発法から算出したスカラーのバルク係数  $C_E$ 、およびバルク法より算出した熱輸送のバルク係数  $C_H$ （○印：温度差 1℃以上&顕熱 30W/m<sup>2</sup>以上、×印：それ以外）と風向との関係を図 2 に示す。今のところ両者ともバラつきが大きく風向による関係を検討するには至っていないが、風洞実験に近い傾向は示している。

次に、二つのバルク係数の風速に対する変化を比較するため、屋上面についての  $C_H$  と風速との関係を  $C_E$  同様図 3 にプロットした。両者の変化はほぼ一致することから、風速依存性に関してはアナロジーが検証できた。

$C_H$  の精度を確認するため、各構成面について顕熱 flux と温度差( $T_s - T_a$ )の関係をプロットした(図 4)。屋上面については相関関係が見られるが、壁面については顕熱 flux と温度差に一部ヒステリシスが認められる。また床面についても関係は不明確である。これらの面に関しては、現状では flux の推定精度に問題があると考えられる。

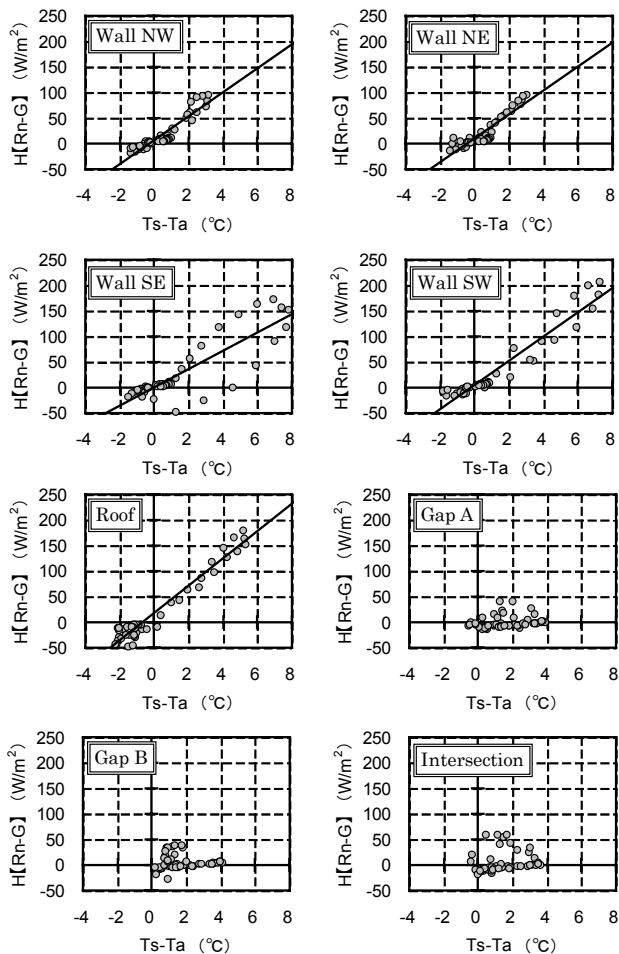


図4.各面の顕熱 flux と表面温度-気温差の関係

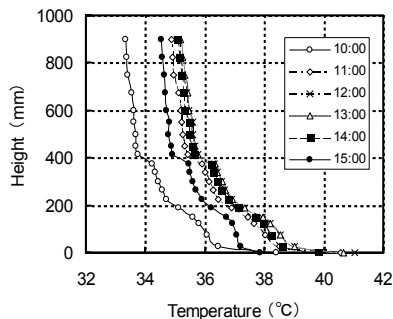


図5. 気温の鉛直プロファイル

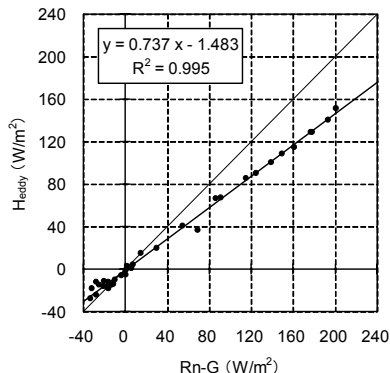


図6. 渦相関法による顕熱 flux と熱収支法による flux 積算値の比較

### 3. 建物表面から輸送される顕熱量積算値と上空通過顕熱 flux の比較検討

渦相関法では、都市キャノピーの熱影響をうける領域の高さを捉え、その範囲内に超音波風速温度計を設置しなければならない。一方、低すぎると個々の建物の影響が強くなり、空間代表性が得られなくなる。そこで街区の境界層を明らかにするため、熱電対を鉛直方向に設置して気温を測定した。

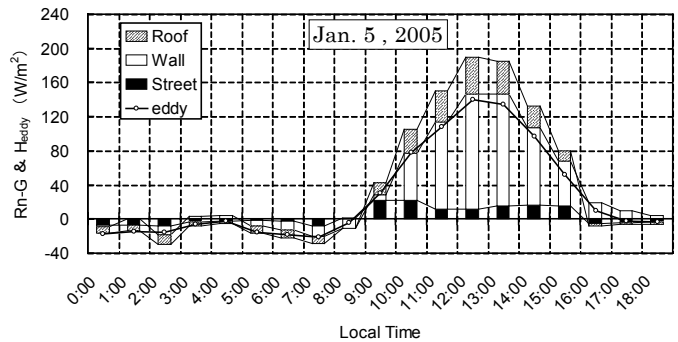


図7. 街区の顕熱フラックスにおける各構成面の寄与率

気温の鉛直プロファイルを図5に示す。高さ 150mm 以下の温度は、高さ 150mm(=H: 建物高さ)のコンクリート桷によるキャノピー層の温度であり、その高さ付近に気温の急変域が存在する。約 400mm(=2.5 H)にもう一つの急変域が存在し、それ以上の高度ではほぼ等温となっている。この高さが地表面の影響を受けている境界層の上端と考えられる。このことからスケールモデル街区の渦相関法の測定高さは 300mm(=2 H)が適切であると判断した。

冬季の晴天時の観測データについて、熱収支の残差から算出した構成面からの顕熱 flux の積算値( $Rn - G$ )と渦相関法より算出した顕熱 flux( $H_{eddy}$ )を算出し、両者の関係をプロットした(図6)。先の解析で、床面に誤差があったにもかかわらず、非常に高い相関係数が得られた。ただしプロットの傾きは約 0.74 と 1 を下回っており、渦相関法は顕熱 flux を過小評価していることがわかる。これは、長周期成分の flux への寄与が、渦相関法では十分評価できていないためと思われる、いわゆる熱収支のインバランス問題が本測定でも確認された。

### 4. 構成面別の顕熱 flux 寄与率

最後に、各構成面からの顕熱 flux がどのような割合かを見るために、屋上面・壁面・床面について分け、熱収支法による顕熱 flux の時間変化を示した(図7)。太陽高度の低い冬季の測定であるため、鉛直壁面の寄与が大きく、日影面が広がる床面の比率は非常に小さくなっている。

### 5. まとめ

今のところ、冬季のデータしか取得されていないため、表面温度があまり上昇しないことから熱収支法の精度にやや問題がある結果となっている。引き続きデータを蓄積して、季節変化等についても考察する予定である。

<謝辞>本研究は、科学技術振興機構・戦略的創造研究推進事業の「都市生態圏一大気圏-水圏における水・エネルギー交換過程の解明」(代表者 東京工業大学 神田 学)によるものである。実験・解析では、河合徹・金賀将彦の両氏に多大な御協力いただいた。記して謝意を表します。

### <文献>

- 1) 武藤 順・成田健一：同題-その1，日本建築学会大会学術講演梗概集，2005
- 2) M. Kanda, T. Kawai, and K. Nakagawa : A simple theoretical radiation scheme for regular building arrays, *Boundary-Layer Meteorology*, 114, 71-90, 2005

\* 日本工業大学工学部建築学科・教授・工博

\*\* 埼玉県越谷市立栄進中学校

\* Nippon Institute of Technology, Prof., Dr. Eng.

\*\* Eishin Junior high school