

フラクタル日除けによるクールアイランドの創出 その②日除けの熱収支と放熱特性

フラクタル日除け 熱収支 対流熱伝達率

1. はじめに

フラクタル日除けは、小片をシェルピンスキー四面体型のユニットで多数組み合わせたもので、夏季の暑熱環境緩和対策として有効であると考えられる。本研究では20 m 四方の大きさでフラクタル日除けを作成し、暑熱環境緩和効果についての基礎的なプロセスの検討を行う。前報その①に続き、本報では乱流熱輸送量の実測結果を報告する。測定の詳細については前報を参照されたい。

2. 日除けの熱収支

図-1は日除け層の熱収支を夏季晴天日20日間の特別平均値で示したものである。図示した熱収支各項の符号は以下の式によるものとする。

$$R_{net} = H(\text{above}) + H(\text{bellow}) + G \quad (1)$$

$$R_{net} = S_{dwn}(\text{above}) - S_{upw}(\text{above}) + L_{dwn}(\text{above}) - L_{upw}(\text{above}) - S_{dwn}(\text{bellow}) + S_{upw}(\text{bellow}) - L_{dwn}(\text{bellow}) + L_{upw}(\text{bellow}) \quad (2)$$

R_{net} は日除けが受け取る正味の放射量である。 S および L は短・長波放射量で日除けの上下に設置した放射計で測定した。添え字 dwn および upw は下・上向き輸送、括弧内の $above$ と $bellow$ は日除けの上と下を意味する。 H は顕熱フラックスで超音波風速計により計測した。 G は日除け筐体への貯熱量で筐体温度の時間変化から求めた。直接測定により熱収支を評価しているため、式(1)の残差が発生しており、式(1)左辺から右辺を引いたものを図-1の $residual$ に示している。残差は日中最大で $+200 \text{ Wm}^{-2}$ 、夜間 -50 Wm^{-2} となっている。このような大きな残差が発生した原因は、日除け下に設置した放射計の位置が低くコンクリートブロックの影になるため、日中は $S_{dwn}(\text{bellow})$ の過小評価、夜間は $L_{dwn}(\text{bellow})$ の過大評価がなされているためと考えられる。しかし残差があることを差し引いても、日除けは日中の正味放射の大部分を顕熱として上空の大気へ放出していることは明らかである。図-1にはコンクリート区で測定された顕熱フラックスも示した。これと比べると日中は日除けの方が顕熱フラックスは 200 Wm^{-2} 倍ほど大きい、夜間はコンクリート区の顕熱が最低でも 50 Wm^{-2} ほどあるのに対して日除けはほぼゼロである。

正会員 ○菅原広史*1 非会員 本條毅*4
正会員 酒井敏*2 正会員 清田誠良*5
正会員 三坂育正*3 正会員 成田健一*3

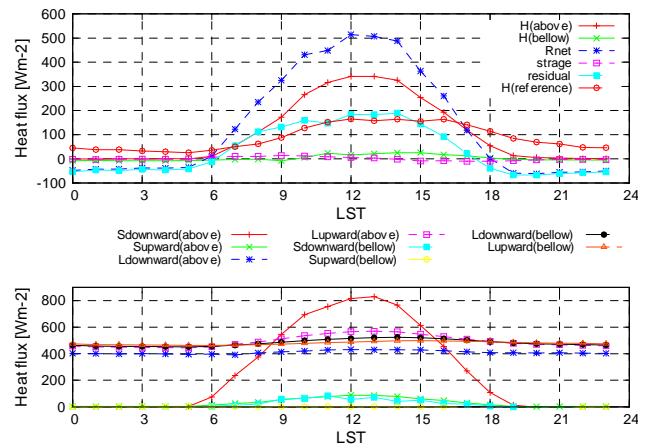


図-1 日除け層の熱収支。夏季晴天日20日間の特別平均。各項の意味については本文参照。

3. 日除け内外の気温差

図-2は図-1と同じ晴天日10日間について、11~17時の気温差と風速との関係を10分値で見たものである。気温差は日除け下マイナスコンクリート区とした。いずれの場所の風速を用いた場合でも風速と温度差の間には相関がみられ、風速が大きいほど日除け下がコンクリート区に比べてより低温になる傾向がある。なお、3 m 高度の風速を用いた場合は温度差の極大が 2 m/s 付近にあるが、同様の傾向は 1.75 m 高度の風速でも見られている。

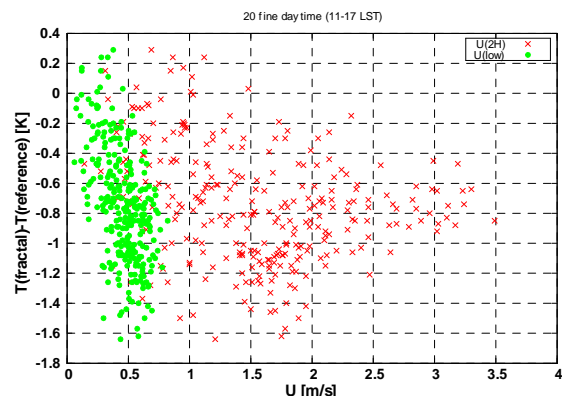
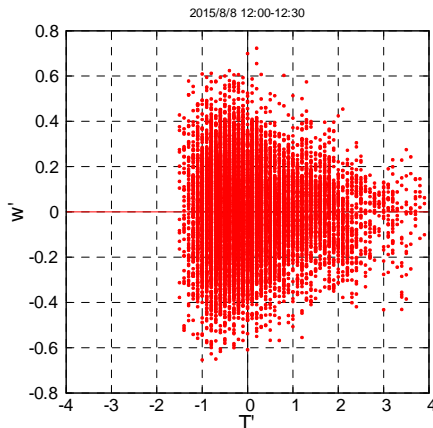


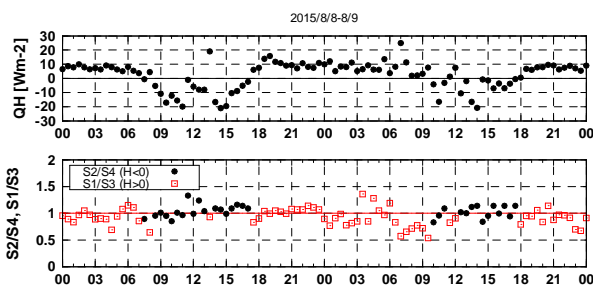
図-2 日除け内外での気温差と風速との関係。風速の測定位置によってプロットを分けており、2Hはコンクリート区の高度3.0 m、lowは日除け下。

4. 日除け下の乱流輸送の4象限解析

風速が大きいかほど日除け下が低温になる理由として、日除け下の地面近傍に冷気があり、それが風によって（気温測定高度まで）巻き上げられると推察される。気温の鉛直分布を測定していないため、乱流変動から検証する。図一3は日除け下の超音波風速計で計測された、温度 T と鉛直風速 w の変動量（30分平均からの偏差）である。例えば第1象限は $T' > 0$ かつ $w' > 0$ であり、暖気上昇を意味する。この30分間の総熱輸送量は下向きであったことから、第1・3象限の乱流変動よりも第2・4象限の変動が強い。図一3を見ると第2象限の方が第4象限よりも強い乱流変動があることがわかる。熱輸送量の比率（第2対第4、 S_2/S_4 ）1.2であった。これは（相対的な）冷気が上昇することで下向きの熱輸送を形成していることを意味している。図一4はフラクタル下において、熱輸送が下向き（ $H < 0$ ）の時の S_2/S_4 を黒丸で示したものである。日中はこの比が1.1程度であり、冷気の上昇が頻繁に行われていることがわかる。



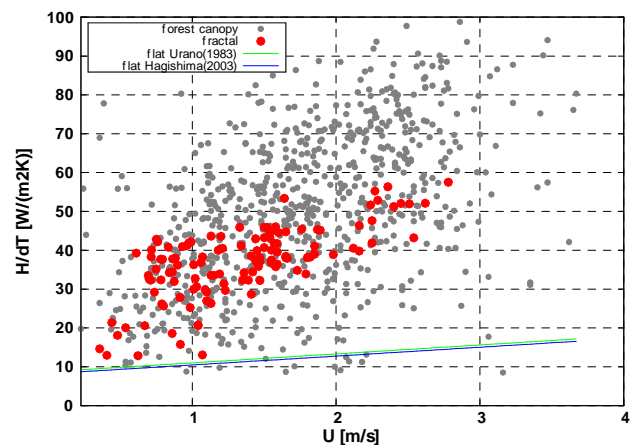
図一3 日除け下での温度変動 T' と鉛直風速変動 w' 。
図上部に示した時刻の0.1秒ごとの値を示した。



図一4 日除け下での顕熱フラックス（上段、正が上向き）と乱流変動の象限比（下段）。象限比はフラックスが正の時は第1・3象限の、負の時は第2・4象限の比。

5. 日除け表面での対流熱伝達率

日除け表面での対流熱伝達率（ H/dT ）を求めた（図一5）。 H は日除け上で超音波風速計により測定された顕熱フラックス、 dT は上向き長波放射から換算された日除け表面温度と気温との差である。顕熱フラックスが 10Wm^{-2} 未満あるいは温度差が 1°C 以下のデータは除去している。図中の風速はフラクタル上400mmでのスカラー平均風速である。図には既往研究1), 2)で示された平板での値（直線）と植生キャノピー上での値を示した。植生キャノピーでの例については筆者らによる東京都港区の自然教育園の樹林（主に落葉樹、樹高約14m）での計測値で、日除けの場合と同様の手法で求めている。フラクタル日除けの対流熱伝達率は平板のものより4倍程度大きく、植生とほぼ同程度の値となっている。



図一5 対流熱伝達率と風速との関係。赤丸は日除け、灰丸は植生キャノピー、直線は平板でのもの。

6. まとめ

フラクタル日除けクールアイランド創出効果について熱輸送の観点から基礎的な検討を行った。日除けは日中の正味放射量の大部分を顕熱フラックスとして上空大気へ放出している。これは貯熱が小さく、かつ対流熱伝達率が高いことに起因する。日除け下では地表面付近の冷気が巻き上がることで、日除け外との気温差が増加することが示唆された。

[謝辞] その1に記載した。

[引用文献]

- 1)浦野ら,1983,日本建築学会計画系論文集,325,93-103.
- 2)Hagishima et al.,2003,Building and Environment,38,873-881.

*1 防衛大学校 准教授 博士 (理学)
 *2 京都大学大学院 教授 博士 (理学)
 *3 日本工業大学 教授 博士 (工学)
 *4 千葉大学大学院 教授 博士 (工学)
 *5 広島工業大学 教授 博士 (工学)

*1 Assoc.prof. National Defense Academy of Japan Ph.D.
 *2 Prof. Kyoto University Ph.D.
 *3 Prof. Nippon Institute of Technology, Dr.Eng.
 *4 Prof. Chiba University Ph.D.
 *5 Prof. Hiroshima Institute of Technology, Dr.Eng.