

② 植生群落上における粗度および ゼロ面変位の季節変化

菅原 広史*

Roughness length and displacement height above forest canopy

Hirofumi Sugawara*

はじめに

地球全体が温暖化した将来の気候下において、熱帯夜といった都市の気候はどのようになるのであろうか？これは気象のみならずエネルギー消費や都市計画が関係する複雑な問題である。このため、気象モデルを用いた数値シミュレーションによる研究がなされている (Adachi et al. 2012)。このような将来予測を行う場合、気象モデルでは地表面パラメータを適切に設定する必要がある。地表面パラメータは、地面と大気との熱や運動量の輸送を表現するためにモデル内において使われる。本研究でとりあげる粗度とゼロ面変位も地表面パラメータである。なお、これらと同様に重要なパラメータである顕熱輸送係数については、前報 (菅原・近藤 2017) において検討している。ビル街については Kanda et al. (2013) や菅原ら (2015) および平野ら (2016) により粗度やゼロ面変位が適切に設定できるようになった。しかし、都市内に存在する公園緑地については、パラメータの同定はほとんど行われていない。都市緑化が進められ緑被率が增大した場合に、都市の温熱環境はどのように変化 (改善) するのかを予想するには、公園緑地についてもパラメータの同定が必要である。そこで本研究では自然教育園の樹林について粗度とゼロ面変位の測定を行った。

粗度は地表面付近の風速鉛直分布を下方へ外挿し、風速 $U = 0$ が得られる高度である。ゼロ面変位は、植生によって大気に対する高度 $z = 0$ の面が実際の地表面よりも上方に位置することに対する補正量である。粗度 (z_0) とゼロ面変位 (d) は風速の鉛直分布を表す対数則の式において次のように使用される。

$$U = \frac{u_*}{k} \ln\left(\frac{z-d}{z_0}\right) \quad (1)$$

ここで u_* は摩擦速度、 k はカルマン定数である。

測定および計算手法

園中央のタワー（地上 20m, 樹冠上約 6m）において乱流計測をおこなった。超音波風速計（ソニック, SAT-540）により風速と音仮温度, オープンパスガス分析計（LICOR, LI-7500）により水蒸気量を, いずれも 10Hz で測定した。音仮温度は水蒸気量を用いて気温に変換した。また同高度において放射 4 成分（短波・長波, 下向き・上向き）を放射計（KIPP&ZONEN CNR-1）により, 光合成有効放射量を光子センサー（PREDE PAR-01, 上向きおよび下向き）により 1 分ごとに測定した。また, 林床においても下向き短波放射量と下向き光合成有効放射量の測定を 1 分ごとに行った。乱流計測と放射 4 成分の計測は 2009 年より行っており, 本研究では 2017 年夏季までの 8 年分のデータを解析する。

ゼロ面変位は温度分散法を用いて求めた。温度分散法では実測された気温の時間変動（分散）をモニン・オブコフ相似則に代入し, ゼロ面変位を決定する手法である。

$$\frac{\sigma_T}{T_*} = -c_1 \left(c_2 - \frac{z-d}{L} \right)^{-1/3} \quad (2)$$

ここで, σ_T は気温の標準偏差, T_* は摩擦温度, L はモニン・オブコフの安定度スケールである。 T_* および L は, 超音波風速計で計測した気温の乱流成分 T' （音仮温度から算出されたもの）と 3 次元風速の乱流成分 (u', v', w') から以下の式で得られる。

$$L = \frac{u_*^2}{k(g/T)T_*} \quad (3)$$

$$u_* = (\overline{u'w'})^{1/2} \quad (4)$$

$$T_* = -\frac{\overline{T'w'}}{u_*} \quad (5)$$

c_1 と c_2 は実験的に求められる定数で, 既往研究ごとに異なった値が使われている。本研究では Rotach (1994) にならってそれぞれ 0.95, -0.02 とした。

粗度 z_0 は, 風速の対数則において測定された摩擦速度 u_* を用いると z_0 は以下の式で求めることができる (Grimmond et al. 1998)。

$$z_0 = (z-d) \exp\left(-\frac{kU}{u_*}\right) \quad (6)$$

ここで z は風速 U の測定高度, d はゼロ面変位, k はカルマン定数 (0.4) である。摩擦速度 u_* は渦相関法により計測された運動量フラックスから以下のように求められる。

$$u_* = (\overline{-u'w'} + \overline{-v'w'})^{1/2} \quad (7)$$

u', v' と w' はそれぞれ主流方向, スパン方向, 鉛直方向の風速変動である。解析では大気安定度が中立 ($-1 < z/L < 1$) のランを抽出して粗度を求めた。

なお, ここで用いた粗度とゼロ面変位の算出手法は, 風速プロファイルを用いない方法であるため, 粗度とゼロ面変位の物理的な意味を考えると間接的な手法であるといえる。しかしながら, その妥当性は Grimmond et al. (1998) や菅原ら (2015) および平野ら (2016) で検証されている。

結 果

1. 落葉・展葉による樹林構造の季節変化

図1に短波放射全波長帯（以下、全波）および光合成有効波長帯（以下、光合成帯）における反射率と透過率を示す。反射率は樹冠上での下向き放射量に対する上向き放射量の比である。透過率は樹冠上での下向き放射量に対する林床での下向き放射量の比で、葉層による放射の透過率である。これらの放射観測データから落葉展葉を読み取る際には、図2に示す各月の樹冠構造の写真を参考にした。写真の撮影年は月によって異なる。全波透過率の変化から、落葉は11月中旬に始まり3月末の展葉まで徐々に進行していることが読み取れる。展葉は図1のいずれのデータからも3月末に開始していると読み取れる。一方、展葉の終わりは全波反射率からは6月末、光合成帯反射率からは4月末と読み取れる。光合成帯反射率の方が早い時期に極大を迎えることから、樹冠上部が先に4月末までに展葉し、下部では6月末まで展葉が続くと考えられる。

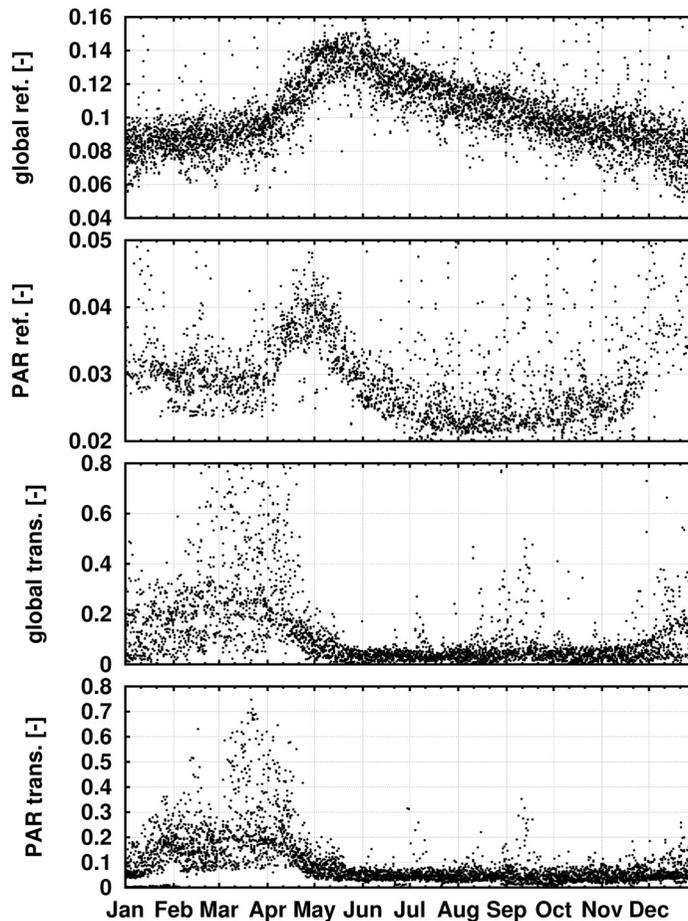


図1 短波全波長帯(global)および光合成有効波長帯(PAR)における樹冠上での反射率(reflectance)と樹林キャノピー層の透過率(transmittance)。12時のデータをプロットした。



図2 樹冠構造の様子。タワーから北西方向を見たもの。中央の高層建築物が恵比寿駅周辺にあたる。

2. 粗度とゼロ面変位の季節変化

図3にゼロ面変位と粗度の季節変化を示す。ゼロ面変位は展葉の時期に急激に増加し、落葉期にはそれよりは緩やかに低下することが読み取れる。粗度はゼロ面変位と同期して変化するが、変化の方向は逆で展葉期に低下している。

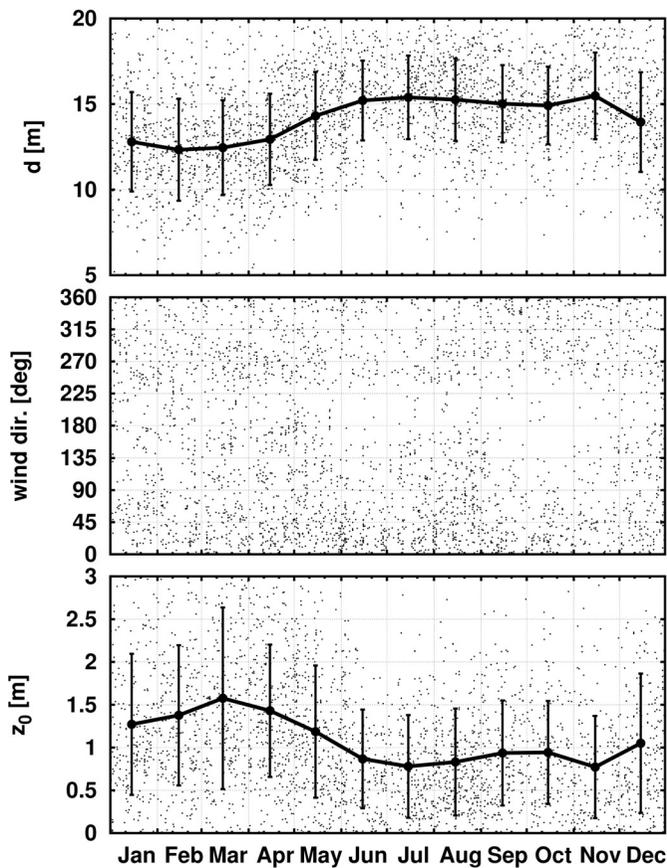


図3 ゼロ面変位，粗度および風向の季節変化。

3. 風向ごとの解析

図4に風向ごとのゼロ面変位と粗度を，着葉期（6～10月）と落葉期（1～3月）に分けて示した。ゼロ面変位については落葉期の方が着葉期よりも風向依存性が大きいことがわかる。粗度についてはその傾向はみられない。これは落葉期に樹冠の凹凸が顕著であるためと考えられる。樹冠の凹凸については定量的なデータを取得することができなかつたため，図5に樹冠上での全周囲画像を示す。着葉期の樹冠は葉枝がおおよそ水平一様に分布しているが，落葉期は方位によっては下層まで見通せる一方で針葉樹が樹冠を形成している部分もあることがわかる。

要 旨

自然教育園の植生群落において，樹冠上での粗度とゼロ面変位を求めた。ゼロ面変位は展葉期に増加し，落葉期に低下した。粗度はこれと同期して展葉期に減少し，落葉期に増加した。これは展葉・落葉により樹冠の幾何学的な構造が変化したためと考えられる。

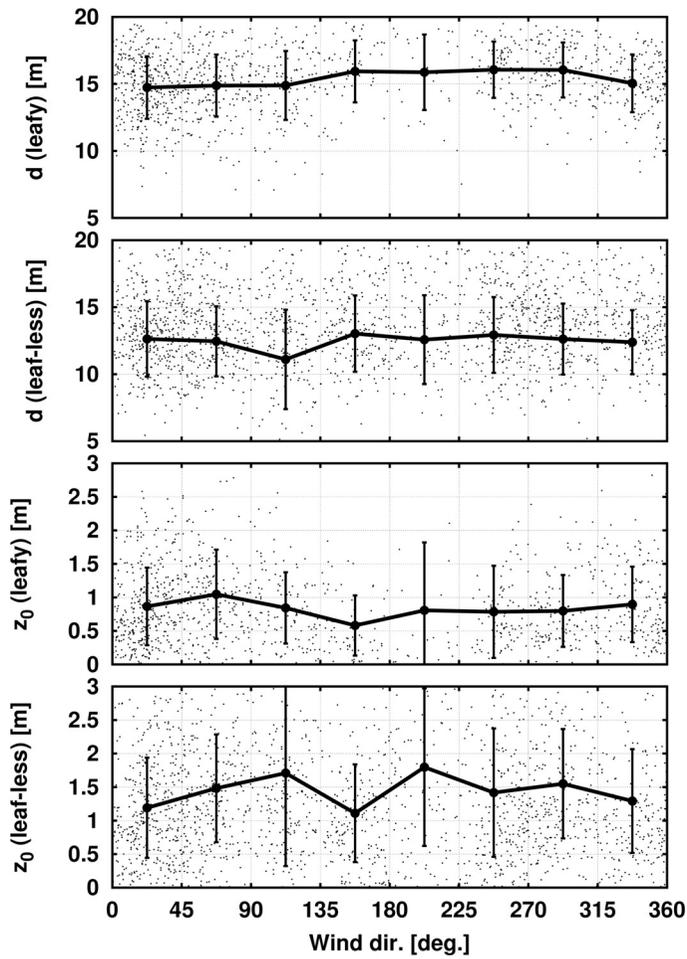


図4 ゼロ面変位と粗度の風向依存性. 着葉期 (leafy) と落葉期 (leaf-less) に分けて示した.

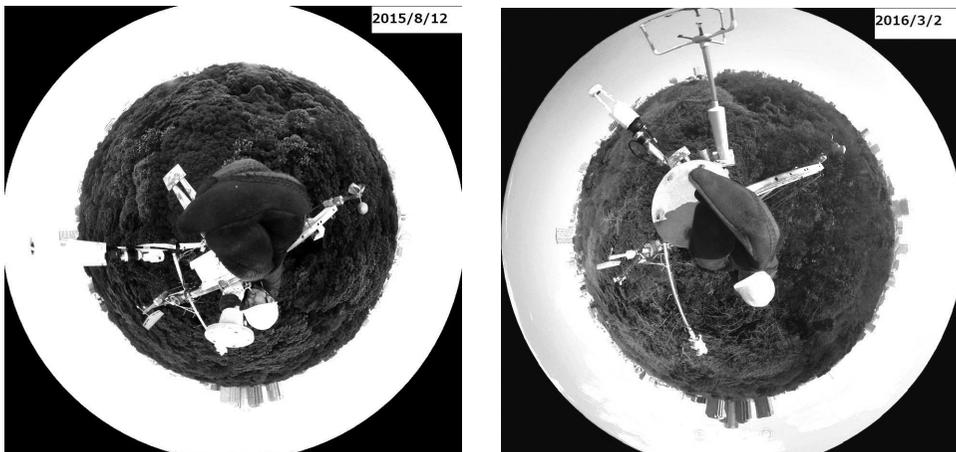


図5 樹冠構造の様子. タワー上部からの全周画像. リコー社製シートにより撮影した.

Summary

Displacement height and roughness length over plant canopy was evaluated. These two parameters showed clear variation in seasonal range; the displacement height (the roughness length) increases (decreases) from spring to summer. The seasonal variation should owing to change of the geometrical structure in the plant canopy.

引用文献

- Adachi, S. A., Kimura, F., Kusaka, H., Inoue, T. & Ueda, H. 2012. Comparison of the Impact of Global Climate Changes and Urbanization on Summertime Future Climate in the Tokyo Metropolitan Area. *J. Appl. Meteorol. Climatol.* 51 : 1441-1454.
- Grimmond, C. S. B., King, T. S., Roth, M. & Oke, T. R. 1998. Aerodynamic roughness of urban areas derived from wind observations. *Bound.-Layer Meteorol.* 89 : 1-24.
- 平野竜貴・菅原広史・荒木沙耶. 2016. 市街地における力学的粗度の測定. *風工学シンポジウム論文集*. 24 : 85-90.
- Kanda, M., Inagaki, A. & Miyamoto, T. 2013. A New Aerodynamic Parametrization for Real Urban Surfaces. *Bound.-Layer Meteorol.* 148 : 357-377.
- Rotach, M. W. 1994. Determination of the zero plane displacement in an urban environment. *Bound.-Layer Meteorol.* 67 : 187-193.
- 菅原広史・清水暁・平野竜貴・村山昌平・近藤裕昭. 2015. 市街地におけるゼロ面変位の測定. *風工学シンポジウム論文集*. 23 : 49-54.
- 菅原広史・近藤純正. 2017. 植生群落上における顕熱輸送係数. *自然教育園報告*. 48 : 17-23.