

低層住宅街における温位・CO₂・H₂O の鉛直分布と拡散係数

東京工業大学大学院 国際開発工学専攻 学生会員 森泉孝信
 東京工業大学大学院 土木工学専攻 正会員 森脇 亮
 東京工業大学大学院 国際開発工学専攻 正会員 神田 学

1. はじめに

接地層における拡散係数は、地表-大気間のエネルギー・物質輸送を決定づける重要な物理量である。これまで、草原での観測に基づいて経験的に求められた無次元拡散係数（拡散に対する相似関数）が広く用いられてきたが、これが3次元的に複雑で粗度要素の大きな都市域にも適用できるかは定かではない。そこで本研究では都市住宅街に観測タワーを設置し、温位、CO₂、H₂O の鉛直分布および拡散係数を検討した。

2. 観測概要とデータ処理

東京都大田区久が原の低層住宅街（平均建物高さ $z_h=7.3\text{m}$ ）に気象観測用タワーを設置し、多高度の風速、温位、CO₂、H₂O データ等を2004年12月～翌年1月と、2005年8、9月に計測した（図1）。

顕熱、潜熱、CO₂ フラックスは風速や H₂O、CO₂ 濃度から渦相関法を使って求めた。また、温度、CO₂、H₂O 濃度プロファイルは60分毎のデータセットを作成した。

3. 温位、CO₂、H₂O の鉛直プロファイル特性

ここでは日照率65%以上の晴天日に着目し、各季節の典型的な日変化を議論する。図2は夏季及び冬季の温位、CO₂、H₂O 分布を日中と夜間に分けて平均化してプロットしたものである。バックグラウンドの変化を無視するためタワー最高点（28m）を基準に高度方向の変化を、サンプルの標準偏差とともに示している。

(a) 温位 日中の温位の最大値は、夏季は地表付近に現れるが、冬季は屋根面付近に現れる。冬は太陽高度が低いために屋根面などキャノピー上部のみが温められるためである（Kanda et al., 2005）。

(b) CO₂ 夏季の日中はキャノピー内で下方ほど濃度が低い。都市域は通常 CO₂ の排出源になっているが、この時期は庭木や植え込みの光合成によってキャノピー内では CO₂ が吸収されているためだと考えられる。一方、



記号	測定内容
a	温位, CO ₂ , H ₂ O (プロファイル用)
b	3次元風速 温位(フラックス用)
c	CO ₂ , H ₂ O (フラックス用)

図1 タワー全景(左図、数字は高度[m])と機器設置状況

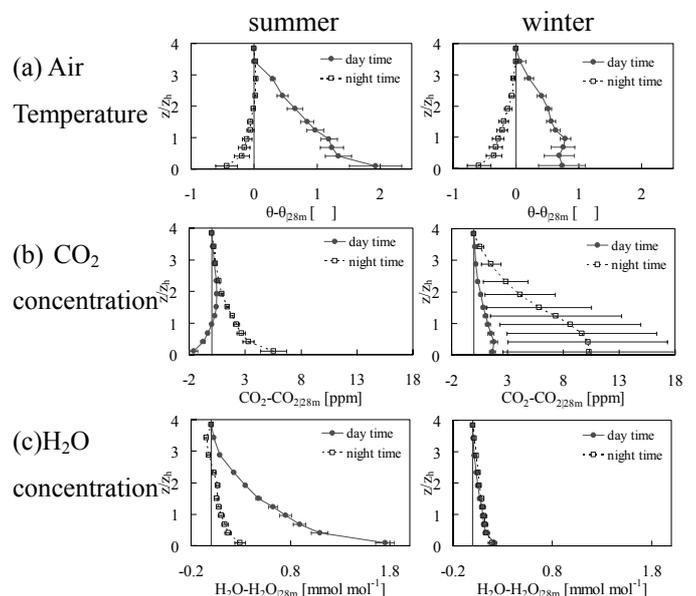


図2 各季節の(a)温位、(b)CO₂、(c)H₂O 鉛直分布
 day time:10-14時, night time:21-4時

夜間は吸収源がなくなるうえ、大気が安定するため地表付近で濃度が上昇する。特に冬季は化石燃料の消費量が多いためにキャノピー内の高濃度化が顕著である（Moriwaki et al., 2006）。

(c) H₂O 夏季日中には H₂O の勾配が大きくなる。オアシス効果により庭木や植え込みからの蒸発が促進され、大量の水蒸気がキャノピー底部で放出されているからだと考えられる。もう一つの可能性としては境界層上空からの乾燥空気の影響を受けているためかもしれない。

キーワード 拡散係数、鉛直分布、都市キャノピー、スカラー、現地観測

連絡先 〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1 石川台 4 号館 410 号室

TEL: 03-5734-2768

4. 熱, CO₂, H₂O の拡散特性

拡散係数は物質の輸送量（フラックス）をその物理量勾配で割ることで求められる（式1）.

$$K = \frac{F_a}{\partial a / \partial z} \quad (1)$$

ここに, a はある物理量を指し, F はそのフラックスである. 拡散係数は乱流強度や高さに依存しているので, その影響を排除して議論するには無次元拡散係数（シア関数）が有効である（式2）.

$$\phi^{-1} = \frac{K}{\kappa u_* z'} = \frac{K}{\kappa u_* (z - z_d)} \quad (2)$$

ここに, u_* は摩擦速度, z は測定高度, z_d はゼロ面変位である.

ここでは運動量と熱の無次元拡散係数について調べた Moriwaki and Kanda (2006) に従い, 以下のようにデータの品質管理を行った. 天気の良い日であり, 風向は 190° から 360°, 風速は 2.5 ms⁻¹ 以上のデータを用い, さらにフラックスと物理量勾配には下限値を設定した.

図3は(a)熱, (b)CO₂, (c)H₂O の無次元拡散係数と大気安定度の関係を示しており, 1.4z_h, 2.8z_h, 3.4z_h の3高度で求めたものを並べた. まず熱とCO₂ では測定高度が下がるにつれて無次元拡散係数が大きくなる傾向が共通して見られる. これは, キャノピー近傍では大きな凹凸によって作られた乱れが勾配型拡散で予測される以上のスカラー輸送を引き起こしているためと考えられ, 森林キャノピーにおいても熱の拡散係数について同様の結果が報告されている (Coppin et al., 1986). 一方, 水蒸気の無

次元拡散係数はキャノピー近傍においても小さい. 水蒸気の発生源がキャノピー底部に偏在し水蒸気が拡散されにくいことと関係しているかもしれない. また一方で, 大気境界層上端でのエンTRAINメント, あるいは高気圧下における沈降流によって上空の乾燥空気が境界層内に輸送され, 地表付近の濃度勾配を大きくしている可能性も考えられる.

5. 結論

本研究ではタワー観測より都市域において初めてスカラーの鉛直分布と乱流拡散係数を算定し, 以下の結論を得た.

- キャノピー内の物理量の鉛直分布は都市特有の地表面の発生源, 吸収源の影響を強く受けて形成されている.
- 熱, および CO₂ の拡散係数には高度依存性が見られた.
- 水蒸気の拡散係数は他のスカラーに比べて小さいことが分かった.

§ 参考文献

- Kanda et al., 2005, *Boundary-Layer Meteorol.*, **115**, 499-506.
 Moriwaki et al., 2006, *Atmospheric Environment*, **40**, 1394-1407.
 Moriwaki and Kanda, 2006, *Theor. Appl. Climatol.*, **84**, 127-136.
 Coppin et al., 1986, *Boundary-Layer Meteorol.*, **35**, 167-191.
 Dyer and Hicks, 1970, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, **96**, 715-721.
 Businger et al., 1971, *J. Atmos. Sci.*, **28**, 181-189.

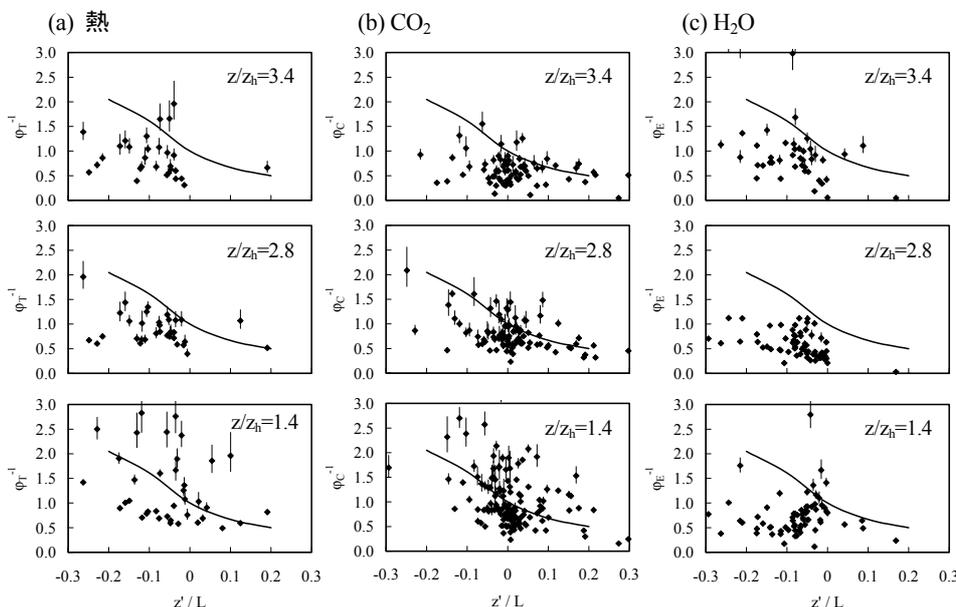


図3 異なる高度における(a)熱, (b)CO₂, (c)H₂O の無次元拡散係数と大気安定度. 高度は平均建物高さで無次元化し, それぞれのグラフに示した. 実線は既存の無次元拡散係数 (Dyer and Hicks (1970), Businger et al. (1971)) を示す