

都市キャノピー内における冬季夜間の  $\text{CO}_2$  の高濃度現象

東京工業大学 正会員 ○森脇 亮  
 東京工業大学 正会員 神田 学  
 東京工業大学 新田 晴美

## 1. はじめに

都市が大気を与える影響を考えるにあたり、都市一大気間におけるエネルギー・物質の拡散過程を把握することは重要である。筆者らは東京大田区に位置する低層住宅街において気象観測用のタワーを用いてフラックス観測を行い、熱収支の季節変化や風速・乱流・気温の鉛直分布などを明らかにしてきた。2004年11月より新たに  $\text{CO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  鉛直分布の計測を開始し、このデータを検討したところ、都市キャノピー内で冬季夜間に  $\text{CO}_2$  が高濃度化するという興味深い現象を発見した。

## 2. 観測の概要

$\text{CO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  鉛直分布の計測は大田区久が原の住宅街（平均建物高さ = 7.3 m）に設置した気象観測用タワー（高さ 29 m）を用いて行った（図1）。分析計として  $\text{CO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$  アナライザー（Li-cor 社；LI-7000）を地上部に設置し、多点切り替えフローシステムにより上空 11 高度の濃度計測を行った。バックグラウンド濃度の時間変化の影響を最小限に抑えるため、Xu et al. (1999)を参考にして、計測サイクルを短くする工夫がされている。各高度の計測時間は 10 秒であり（切り替え直後の 3 秒間は平均に使用しない）、全高度のプロファイル計測に必要な時間は 120 秒である。精度よく計測を行うため、常にゼロガス（乾燥窒素：99.9999%）を Ref セルに流し、また  $\text{CO}_2$  標準ガス（500ppm）を 1 時間毎に Sample セルに流してリアルタイムキャリブレーションを行った。

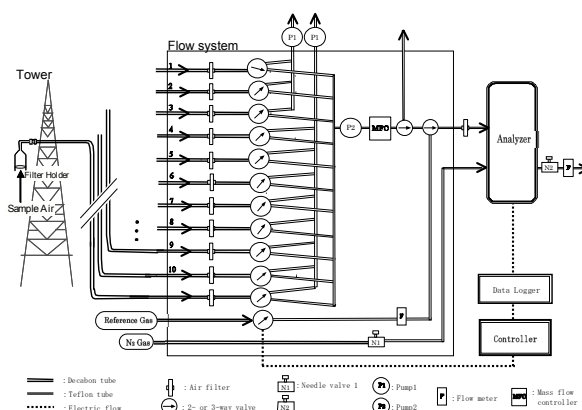


図1 フローシステム図

3.  $\text{CO}_2$  濃度の日変化特性

都市における  $\text{CO}_2$  濃度の変化特性は場所による違いが大きく、都市に共通する典型的な挙動は報告されていない。図2に示した上空 29m の  $\text{CO}_2$  濃度のアンサンブル平均像（60 日分）を見ると、夜間に大気が安定化するとき  $\text{CO}_2$  濃度が上昇している傾向が見られる。 $\text{CO}_2$  フラックスは一日を通して常に上向き（発生）となっており、このことが  $\text{CO}_2$  濃度を上昇させる原因となっていると考えられる。午前8時ころに見られる  $\text{CO}_2$  濃度の小ピークは、同時刻に一時的に大きくなる  $\text{CO}_2$  フラックスに対応している。 $\text{CO}_2$  濃度とキャノピー内外の濃度差（ $\Delta\text{CO}_2$ ）には位相差が見られ、 $\Delta\text{CO}_2$  は  $\text{CO}_2$  より 2 時間くらい先んじている。これは、 $\text{CO}_2$  がキャノピー内でまず蓄積して、その後上空の  $\text{CO}_2$  濃度を増加させることを意味している。

4. 大気安定度別の  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , 温位の鉛直分布特性

前節で述べた  $\Delta\text{CO}_2$  は大気安定度（バルクリチャードソン数  $R_b$ ）に強い依存性があることがわかったので（図略）、大気安定度別にプロファイルアンサンブル平均することにより、安定時（ $R_b > 5$ ）・不安定時（ $R_b < -1$ ）のプロファイル特性を調べた。図4に  $\text{CO}_2$  濃度の安定度別の鉛直分布を示す。気温・水蒸気・乱流強度のこともプロットした。バックグラウンド値の変化を無視して鉛直方向に生じる濃度差を見るために、プロファイルは、各高度における温位もしくは濃度と高度 29m（=  $4z_0$ ）における温位・濃度差を引いたものを示した。

まず不安定時について述べる。温位は日中屋根面に温位のピークが現れ、これは Kanda et al. (2005) による本サイトでの最高気温出現時の温位プロファイルと似ている。冬季は太陽放射が主に屋根面のみを温めるため

キーワード 都市,  $\text{CO}_2$ , 鉛直分布, 現地観測, スカラー輸送

連絡先 〒152-8552 東京都目黒区大岡山 2-12-1 東京工業大学 土木工学専攻 TEL 03-5734-2768

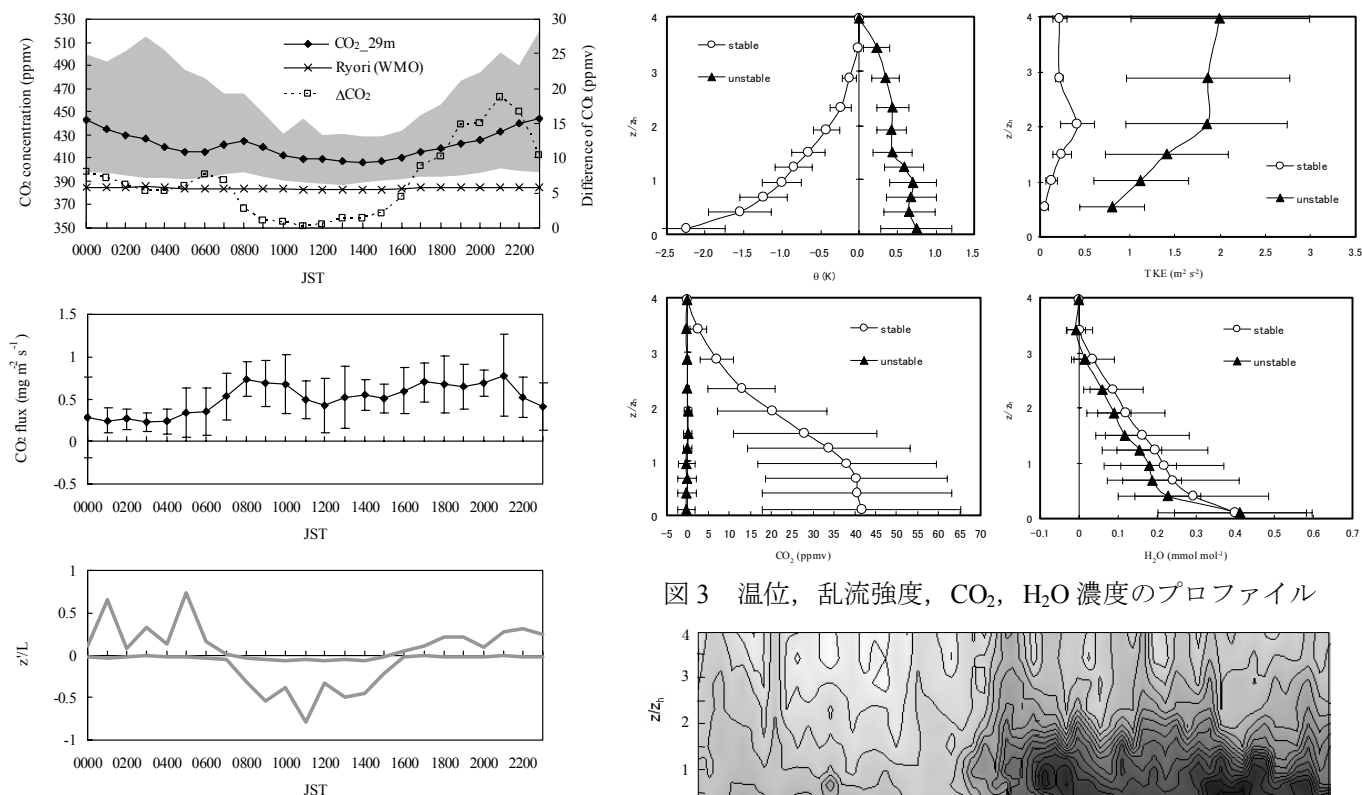


図2 CO<sub>2</sub>濃度、CO<sub>2</sub>フラックス、大気安定度の日変化（60日分のアンサンブル平均）

図3 温位、乱流強度、CO<sub>2</sub>、H<sub>2</sub>O濃度のプロファイル

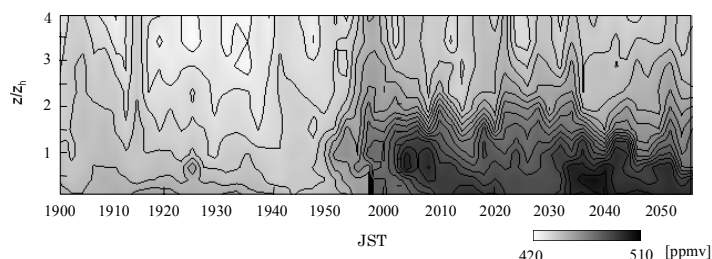


図4 CO<sub>2</sub>濃度の高度-時間コンター図



ある。CO<sub>2</sub>は濃度差がつかずほぼ一様な分布になっている。冬季のCO<sub>2</sub>排出は家庭による燃料消費が主になっていることが Moriwiki and Kanda (2004)によって報告されており、換気扇などから放出されたCO<sub>2</sub>は、不安定時の大きい乱流拡散によって一様化する。一方、H<sub>2</sub>Oはキャノピー底部近傍で最大値を持つ分布になっている。日中のH<sub>2</sub>Oの放出源は主に土壌面であり、この土壌面はキャノピー底部の乱流拡散が小さいところである。そのため放出されたH<sub>2</sub>Oは上空に拡散されにくく底部近傍の濃度を上昇させていると考えられる。

次に安定時について述べる。温位は地表付近で最低となる。通常夜間の都市キャノピーでは屋根面の天空率が最も大きいため、屋根面が最も放射冷却される。実際にサーモグラフィーを用いた温度計測や屋外スケールモデル実験においても、夜間の屋根面の表面温度が他よりも低いことが確認されている。表面温度と異なる気温分布の観測事実は、屋根面付近で冷却された空気がキャノピー内に重力沈降しキャノピー内に冷氣湖を形成することを示している。CO<sub>2</sub>濃度はキャノピー内で上空よりも40ppmも増加し、キャノピー内では高濃度CO<sub>2</sub>がほぼ一様化している。また図5に示したCO<sub>2</sub>濃度の高度-時系列コンターを見ると、20時ごろに屋根面付近で高濃度CO<sub>2</sub>塊が検出され、それがキャノピー内で下方に移動しているのがわかる。主に換気扇などから排出されるCO<sub>2</sub>が、キャノピー内で滞留し高濃度化するためと考えられる。この原因として先ほど述べた冷氣流の存在が挙げられる。屋根面付近から下降する空気塊は家庭から排出された高濃度CO<sub>2</sub>をキャノピー内に滞留させる。一方H<sub>2</sub>OはCO<sub>2</sub>とは全く異なる分布を示しているが、このプロファイルも冷氣流によって説明できる。基本的に、H<sub>2</sub>O濃度は上空ほど低く、また都市キャノピー内では土壌面を除いて蒸発源は存在しない。夜間の冷氣流は上空の乾燥した空気をキャノピー内に運び、土壌面付近を除くキャノピー内のH<sub>2</sub>O濃度を減少させると推察できる。

## 参考文献

- Kanda, M., Moriwiki, R., and Kimoto, Y.: 2005, *Boundary-Layer Meteorol.* (accepted)
- Moriwiki, R. and Kanda, M.: 2004, *J. Applied Meteorol.* **43**, 1700-1710.
- Vogt, R., Christen, A., Rotach, M.W., Roth, M., and Satyanarayana, A.N.V.: 2005, *Theor. Appl. Climatol.* (in press)
- Xu, L.-K., Matista, A.A., and Hsiao, T.C., 1999: *Agric. For. Meteorol.* **94**, 1-12.