

② 樹林上における二酸化炭素輸送の 季節・経年変化

菅原広史*・萩原信介**

Seasonal- annual variation of CO₂ flux above forest canopy

Hirofumi Sugawara*, Shinsuke Hagiwara**

はじめに

都市内に存在する公園緑地の植生は、周辺市街地からの熱や汚染物質による生理的ストレスを受ける。同時に市街地で人為的に発生する二酸化炭素により施肥効果を受けているとも考えられる。この2つのいわば相反する要素が、植生の蒸散や光合成委などの生理現象にどのように影響しているのかは明らかではない。一方、日本においては温室効果ガス削減に関して、都市緑化に期待する動きもある。

したがって、都市緑地での二酸化炭素吸収に関する実態把握が必要であろう。しかしながら、都市内の緑地について微気象学的な測定を、通年を通して行った研究は数例（例えば小栗・檜山, 2002）しかない。そこで我々は自然教育園（東京都港区白金台）において二酸化炭素輸送の通年観測を行った。前報（菅原ら, 2010）では樹冠上での二酸化炭素輸送量について、1年間のみの結果を示した。その後のデータの蓄積により、本報告では6年分のデータを用いて季節変化を中心に報告する。

測定

2009年夏季より園中央のタワー（地上20m, 樹冠上約6m）において乱流計測をおこなっている。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）により二酸化炭素濃度と水蒸気量を、いずれも10Hzで測定している。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1分ごとに測定している。二酸化炭素輸送量の算出においては渦相関法により30分平均値を求めた。その際、音仮温度に対する横風補正, 地形性鉛直流補正, web補正（空気密度変動の補正）を行っている。林床では下向き短波放射量の測定を行い、タワー上の下向き放射量との比により着葉状態をモニタした。

*防衛大学校, National Defense Academy

**国立科学博物館附属自然教育園, Institute for Nature Study, National Museum of Nature and Science

結 果

1. 測定値への市街地の直接影響の検討

二酸化炭素輸送量の地表面での発生エリア (footprint) を Neftel et al. (2008) のモデルにより求めた。footprint に対する園内エリアの寄与は、主風向である南もしくは北風時には約 70%、タワーから園境界までの距離が短い東風時には約 50%であった。ここで例えば園の寄与率が 70%とは、残り 30%が市街地の寄与である。この 30%に市街地での輸送量をかけたものが、測定値への寄与となる。特に東風時に市街地の影響が輸送量に直接混入する可能性がある。

そこで、園外の市街地からの影響を平日と休日のフラックスの違いから検討した。休日は土日と祝日とした。図 1 は二酸化炭素輸送量の平日・休日それぞれの日変化を季節ごと (6~8月, 12~2月) に見たものである。図には 6 年分のデータの平均値を示して居る。図中の誤差棒は特別平均した際の

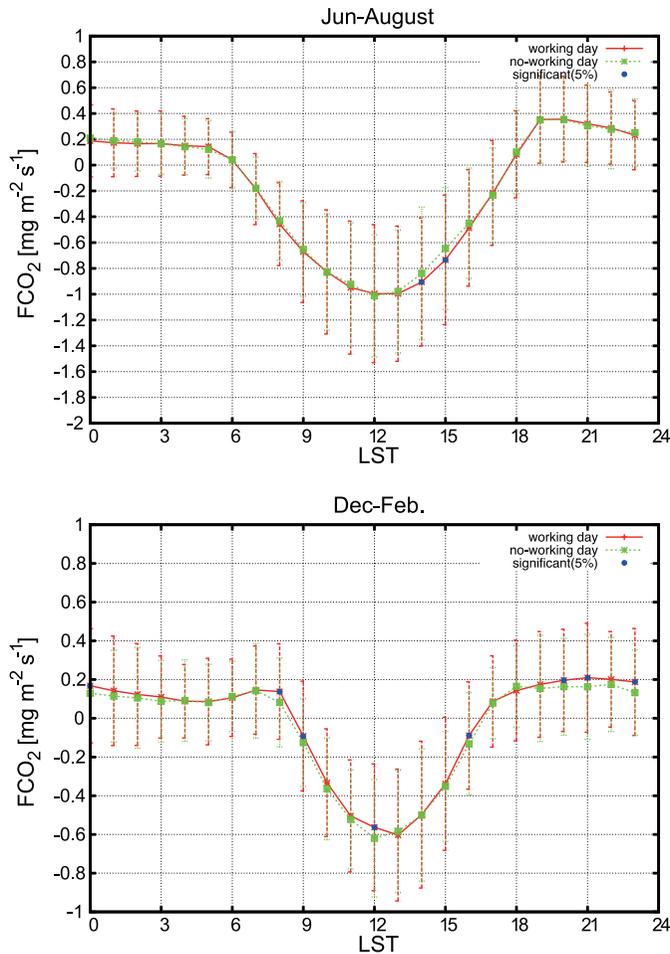


図 1 二酸化炭素輸送量の日変化. 平日 (working day) と休日に分けて示した. 青丸は平日・休日の差が危険率 5%で統計的に有意なケース. (上): 7~8月, (下): 12~2月.

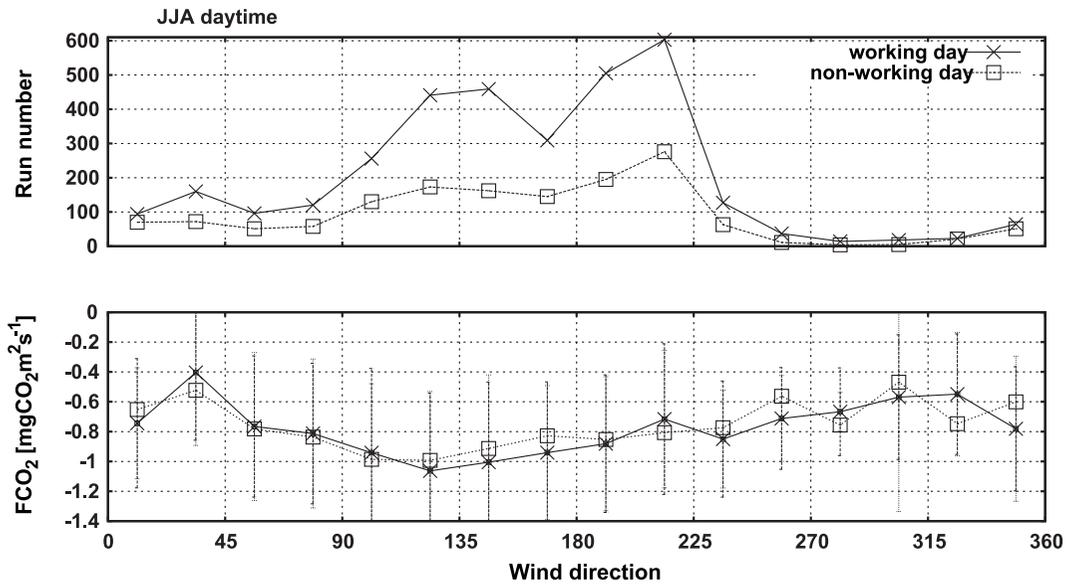


図2 二酸化炭素輸送量（下）. 風向ごとの平日と休日の比較. 夏季日中について示した. 上図はデータ数.

標準偏差で、青丸が平日・休日の差が統計的に有意（危険率5%）なケースである。二酸化炭素輸送量は上向きに輸送される場合がプラス（放出）、下向きの場合がマイナス（吸収）である。青丸のケースに着目すると、6～8月は14～16時に平日・休日の差が大きくなっており、平日の方が二酸化炭素輸送はマイナス側に大きい。これは、市街地から高濃度の二酸化炭素が樹冠上に流入したためと考えられる。一方12～2月では、日中は平日の方が吸収が弱く、夜間は放出が強い。冬季にこのような傾向が生じた理由は不明である。図2は夏季日中において、風向ごとに平日・休日の違いをみたものである。懸念された東側においては二酸化炭素輸送量の差はほとんど認められない。

以上より、夏季の午後には市街地からの直接影響と思われる二酸化炭素輸送量の減少が見られた。ただし、その大きさは輸送量の日変化振幅に比べて非常に小さい。それ以外の時間や特定方向での直接影響は明確には認められなかった。

2. 二酸化炭素フラックスの季節変化

図3に樹冠上での二酸化炭素輸送量と日射透過率の季節変化を示す。輸送量は30分ごとのデータでみて、欠測時間数が50%以上の月については表示していない。日射透過率の季節変化から推測すると、展葉は5月から本格的になり6月に完了する。落葉が明確になるのは1月からである。なお、日射透過率は樹冠と林床1地点での日射の比であるため園全体の状態と対応していない可能性もある。

展葉の状態と対応して二酸化炭素の吸収のピークは6月にみられる。ピークの絶対値は名古屋の落葉樹林の例（小栗・檜山, 2002）と比べて若干大きい。一方、冬季もフラックスは吸収となっている。この点は小栗・檜山（2002）の例とは大きく異なる。この原因として、1) 園内の樹種のうち、個体

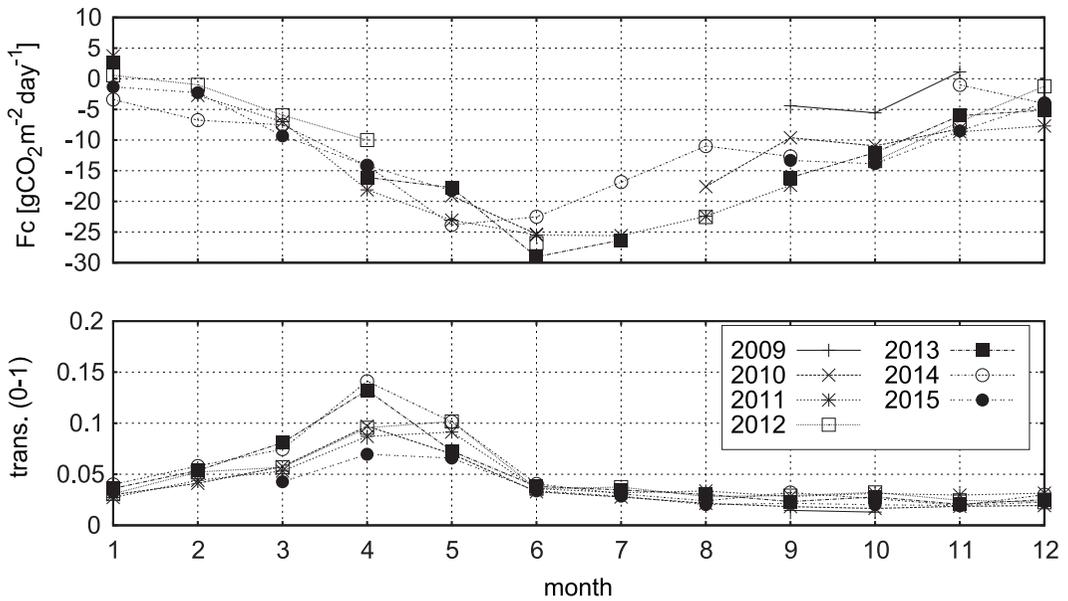


図3 二酸化炭素輸送量 (上) と樹林の日射透過率 (下). 年ごとに示した.

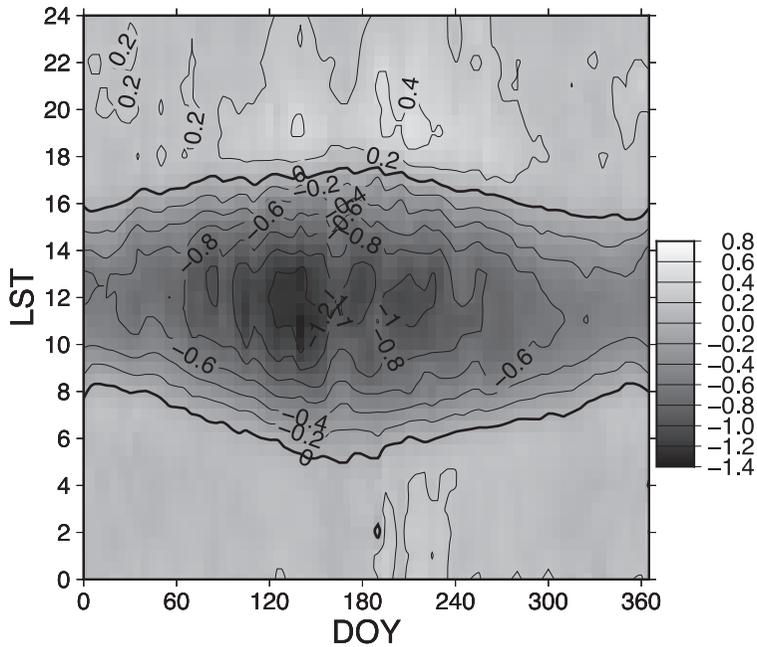


図4 二酸化炭素輸送量の季節・時別平均. グレースケールの単位は $\text{mgCO}_2\text{m}^{-2}\text{s}^{-1}$.

数割合で36%を占める常緑広葉樹 (スダジイ, シロダモ等) による光合成吸収の影響, 2) 園北側の斜面 (比高 14 m) による夜間の水平移流 (生態系呼吸起源の二酸化炭素の流出) があると考えられる。

次に日変化も含めて見てみる。図4は6年間のデータを用いて作成した二酸化炭素フラックスの季節・時刻コンポジットである。図3で見られた秋～冬季の二酸化炭素吸収と整合して、冬季でも日中のフラックスは吸収である。一方、夏～秋の夜半前には明確な放出のピークが見られる。冬季もわずかにプラスである。

要 旨

自然教育園の樹冠上で二酸化炭素輸送量の連続測定を6年間にわたって行った。夏季午後には市街地の直接影響と思われる平日・休日の差が認められた。二酸化炭素輸送量のピークは6月に見られた。その大きさは名古屋での都市内2次林での測定例よりも若干大きかった。冬季も昼間に下向きの輸送がみられ、日平均でも輸送は下向きであった。

Summary

Turbulent transport of carbon dioxide was measured at the top of the urban forest canopy. Total 6 years data was analyzed. Statistically significant difference of carbon dioxide flux was found between the working and non-working days in summer daytime. In the seasonal variation, the peak of flux was found in Jun, which is consistent with the leaf phenology. The daytime flux was transported downward even in winter.

引 用 文 献

- Neftel A., Spirig C., Ammann C., 2008. Application and test of a simple tool for operational footprint evaluations, *Environmental Pollution*, 152 (3), 644-652.
- 小栗秀之, 檜山哲哉, 2002. 都市二次林におけるCO₂・熱フラックスの季節変化, *水文・水資源学会誌*, 15: 264-278.
- 菅原広史, 清水昭吾, 成田健一, 2010. 自然教育園における熱・水蒸気・二酸化炭素フラックスの季節変化, *自然教育園報告*, 42: 31-38.

