

自然教育園における二酸化炭素濃度の鉛直分布

菅原広史*・田畑龍謹

防衛大学校

Hirofumi Sugawara, Tatsunori Tabata: Vertical profile of CO₂ concentration in the Institute for Nature Study. Miscellaneous Reports of the Institute for Nature Study (56): 63–68, 2024.

National Defense Academy

はじめに

2050年カーボンニュートラルに向けて、国内では様々な取り組みがなされている。二酸化炭素の人為的な排出の削減に加えて、植物による吸収を促進する取り組みが行われている（例えばブルーカーボンと呼ばれる海藻による吸収など）。森林における二酸化炭素吸収もその大きなファクターとして注目されている。

自然教育園においては、植生による二酸化炭素吸収の調査が2009年以降継続的に行われている（菅原，2020）。その結果、自然教育園は都市緑地でありながら郊外の森林と同程度の二酸化炭素吸収が行われていることが明らかになっており、年間を通した正味の吸収量（NEP, Net Ecosystem Production）は445 gC/m²/yearであるとされている（田畑，2024）。これは東京の住宅地における排出量（4300 gC/m²/year, Hirano *et al.*, 2015）の約1割に相当する。都市緑地の植生は乾燥ストレスや大気汚染物質によるストレスを受けていることが想像されるが、それでもなお相当な量の二酸化炭素が吸収されている。

植生により二酸化炭素が吸収されているのであれば、樹冠層の上下ではそれに対応した二酸化炭素濃度の差異（下層のほうが低濃度）が生じているはずである。前報（菅原ら，2011）では二酸化炭素濃度の分布について調査した結果を報告したが、計測機器の特性により2高度のみのデータ取得しかできていなかった。そこで本報告では樹冠上と樹冠の葉層内、林床において二酸化炭素濃度を

連続的に観測したので、その結果を報告する。

なお、夜間は光合成が行われないため、植生および土壌中の生物による呼吸、すなわち二酸化炭素排出が行われる。したがって、夜間については園内が園外より高濃度となることが予想される。解析では日中の二酸化炭素吸収と夜間の排出それぞれについて、吸収・排出量と園内外での濃度差との対応も検討した。

測 定

計測は園中央の観測用鉄塔において行った。測定位置は樹冠上（地上20 m, 樹冠上6 m）、樹冠の葉層内（10 m, 樹冠下4 m）、林床（地上50 cm）の3高度である（図1）。樹冠上の位置には二酸化炭素の輸送量の計測機器も取り付けられており、田畑（2024）や前報（菅原，2020）と同様の計測を行った。これらの位置で空気を吸引し、チューブにより小屋内のCO₂濃度計（LICOR社 LI-820）に送り込んだ。複数高度の計測を1台の濃度計で行うことにより、高度間の濃度差については前報（菅原ら，2011）よりも測定精度を高めている。

濃度計では3高度で吸引した試験気体を2分ごとに切り替えて計測した。その際、切り替え直後の濃度データ（約1分間分）は異なる位置の試験気体が混ざっている可能性があるため破棄している。したがって、各高度の濃度データは連続ではなく1分間の計測の後に5分の欠測となっている。

*E-mail: hiros@nda.ac.jp

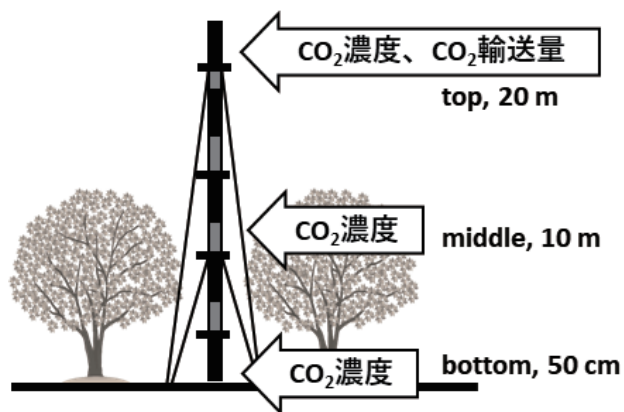


図 1. 計測の模式図.

また，試験気体は濃度計に送り込まれる前にメンブレンフィルター（AGC 社 SUNSEP）により除湿しているが，配管内が結露しない程度の除湿であり，水蒸気を完全には除去できていない。したがって濃度計では水蒸気を含んだ空気を計測している。二酸化炭素の濃度は，厳密には水蒸気を含まない空気に対する比率であるが，ここでは各高度での濃度差が解析対象でありメンブレンフィルターによる除湿も一定程度行われているので，水蒸気の影響を含んだ濃度を解析に用いる。

計測は 2023 年の 2～3 月と 7～8 月のそれぞれ約 1 カ月間連続で行った。2～3 月は落葉が終了し，季節変化でみれば樹冠層内の葉面積が最小となる時期である（菅原・田畑，2023）。

結 果

二酸化炭素濃度の時間変化を図 2（夏）と図 3（冬）に示す。夏季においては，林床が他 2 高度に対して大きくかけ離れた高濃度になっており，時には 50 ppm 以上の濃度差が生じている。この高濃度は林床の植生や土壌中の生物の呼吸による影響と考えられ，光合成による吸収が行われる葉層付近が低濃度になっている。一方，冬季にはそのような差異は見られない。冬季は，鉛直方向の拡散を阻害する葉が落葉により少なくなること，および低温であることで呼吸そのものが不活発になることが原因であると考えられる。

次に二酸化炭素輸送量と濃度差との対応について見るため，観測期間中の特別平均値を図 4（夏）と図 5（冬）

に示す。濃度差は樹冠上と下での差であり，二酸化炭素輸送量はプラスが排出（地表から大気への輸送）を意味する。まず冬季について見ると，夜間は排出（輸送量がプラス）に対応した濃度差（下層が高濃度）となっており，日中はその逆の傾向が見て取れる。7～8 時にはその対応関係が崩れ，輸送量は排出でありながら下層が低濃度という結果がでている。これは朝方で日射加熱による対流も弱く，大気中の比較的小さな渦により二酸化炭素が輸送されているためと考えられる。夏季については，グラフの形としては冬季と似た輸送量・濃度差関係が見られる。ただし，日中の濃度差は小さいながらもマイナス（下層が高濃度）となっており，輸送量がマイナス（吸収）となっていることとは対応しない。これは，樹冠下の計測位置が葉層内でも比較的低高度に位置しており，林床の高濃度空気塊の影響を受けていると考えられる。この点については，今後葉層内の計測高度を増やして確認を行う予定である。

二酸化炭素輸送量と濃度差との対応について見るため，輸送量と濃度差との相関図を図 6（夏季），図 7（冬季）に示す。夏季については，先に述べたように吸収でありながら下層の高濃度（第 3 象限のプロット）という例が見られている。これを除けば排出（輸送量はプラス）と下層の高濃度（濃度差はマイナス），および吸収（輸送量はマイナス）と下層の低濃度（濃度差はプラス）の対応関係がいずれの季節についても見られている。

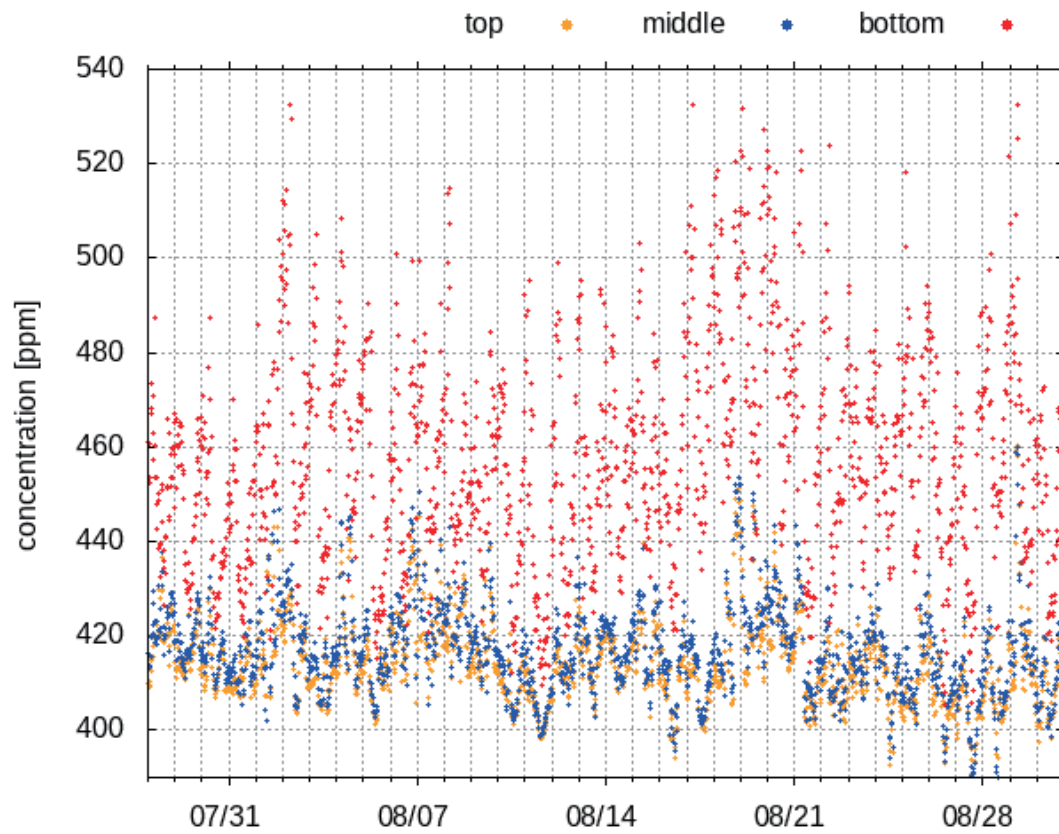


図2. 園中央で計測した二酸化炭素濃度の時系列. 2023年7～8月.
top は樹冠上 6 m, middle は樹冠下 4 m, bottom は地上 0.5 m.

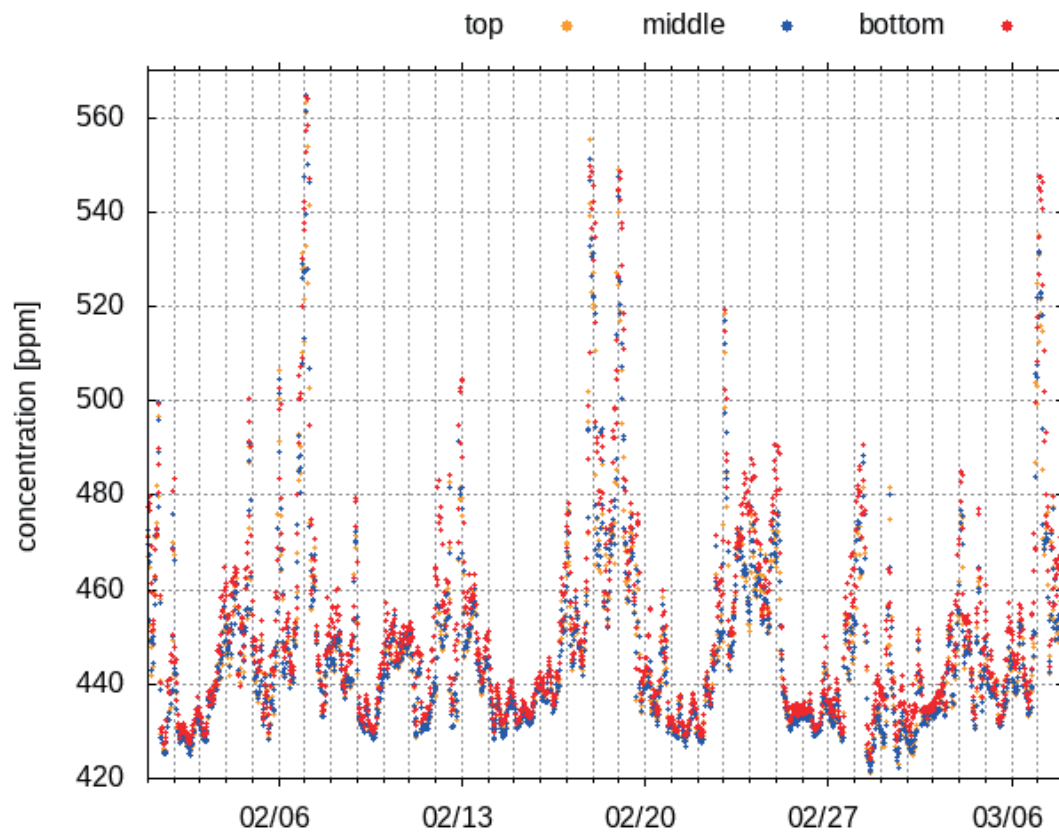


図3. 図2に同じ. 2023年2～3月.

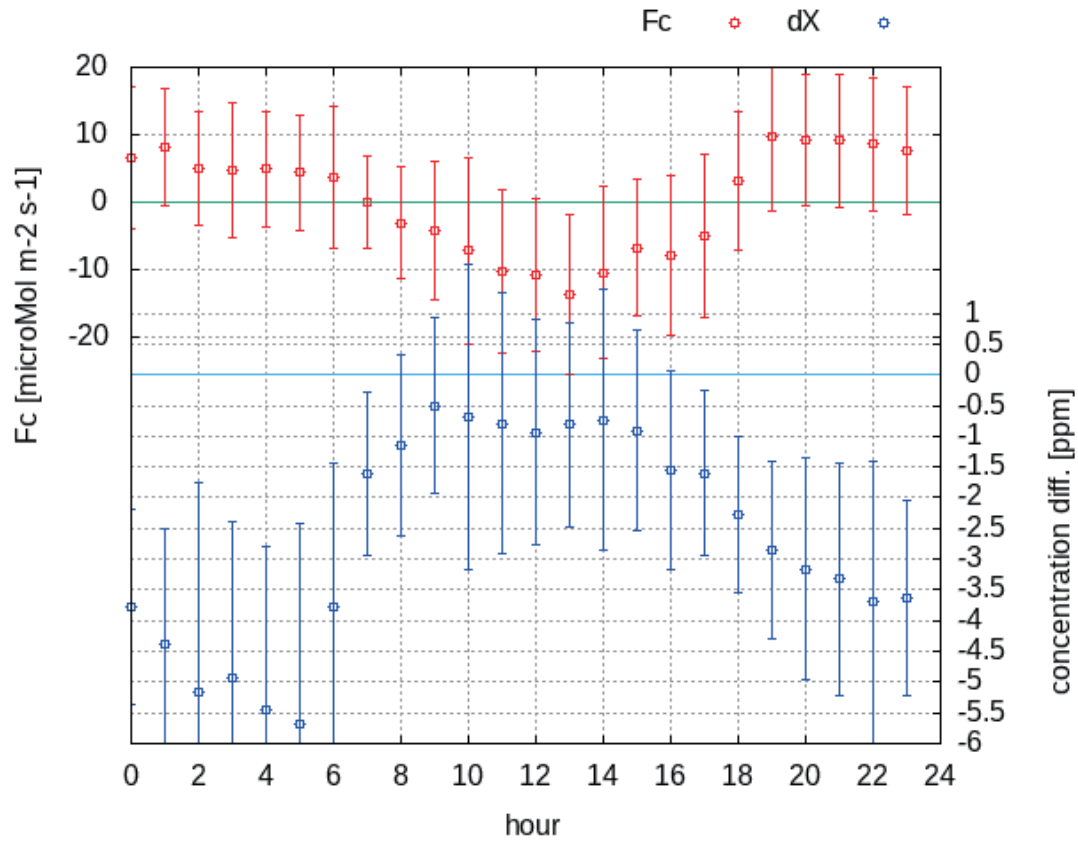


図 4. 観測期間で特別平均した日変化. 2023 年 7 ～ 8 月.
濃度差 dX (樹冠上 - 樹冠下) と二酸化炭素輸送量 Fc. 誤差棒は標準偏差.

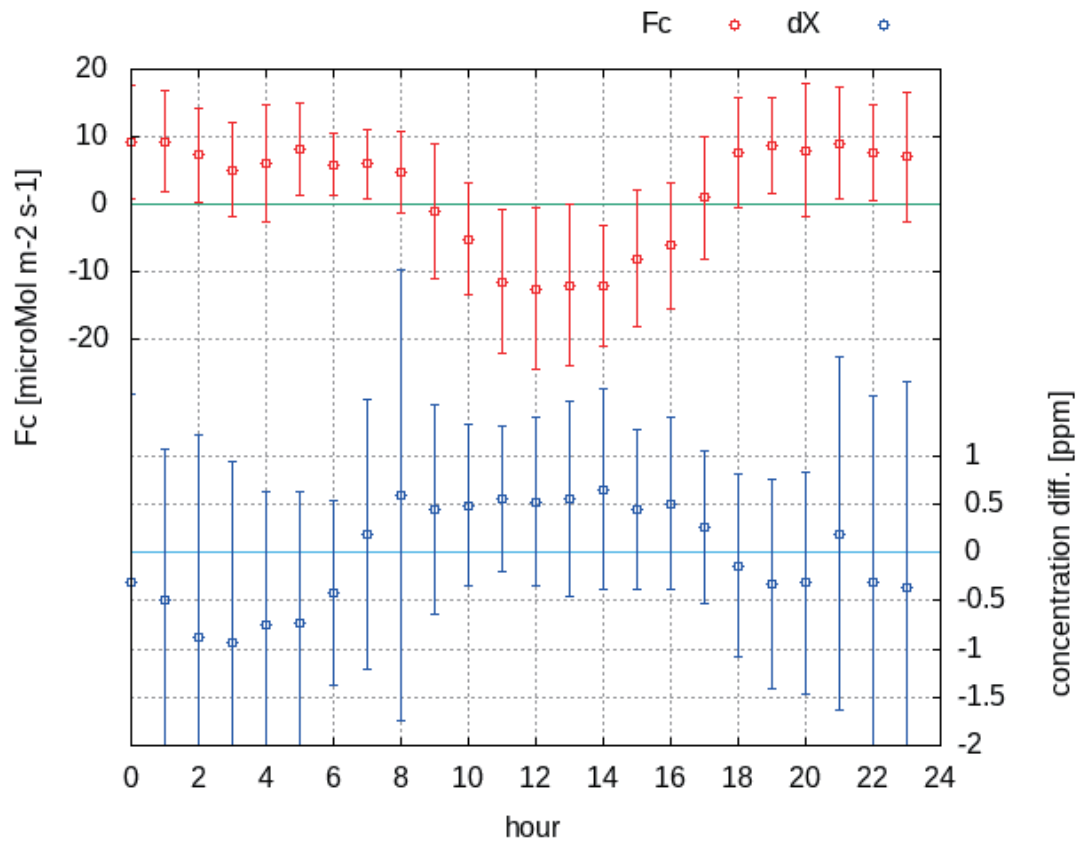


図 5. 図 4 に同じ. 2023 年 2 ～ 3 月.

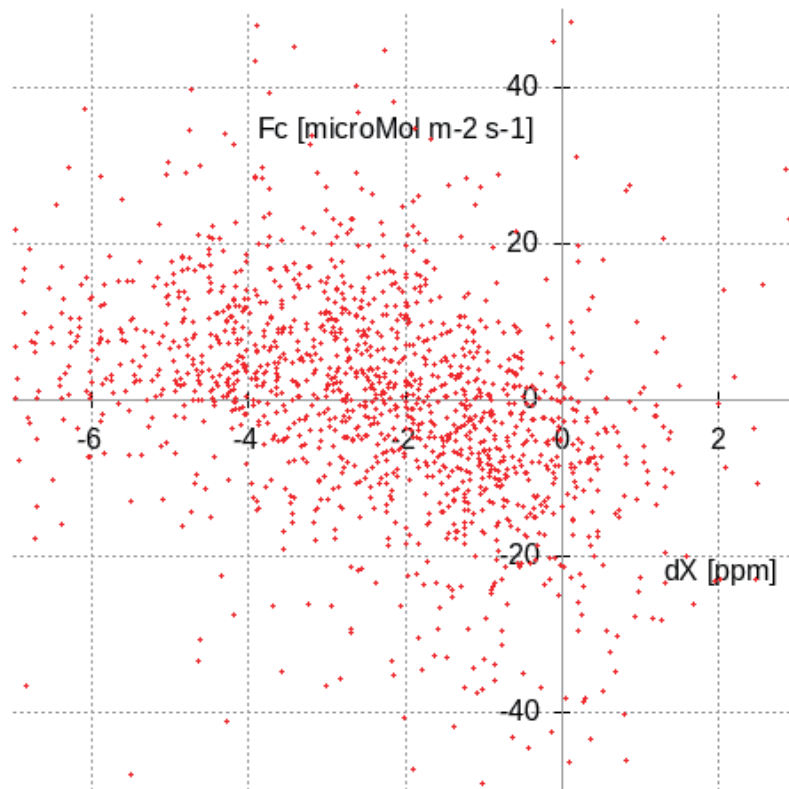


図 6. 濃度差 dX (top-middle) と二酸化炭素輸送量 F_c との関係. 2023 年 7 ~ 8 月.
30 分ごとのデータをプロットしたもの.

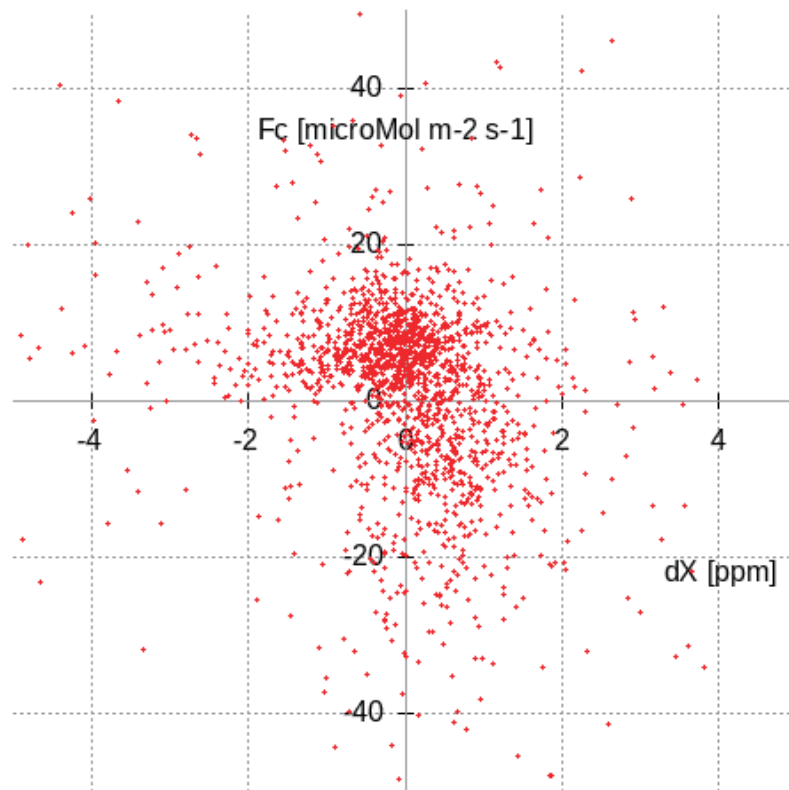


図 7. 図 6 に同じ. 2023 年 2 ~ 3 月.

要 旨

自然教育園内において二酸化炭素濃度の鉛直分布の計測を行った。夏季には林床が特に高濃度となる特徴が見られた。樹冠付近での上下の濃度差は輸送量と対応していた。

Summary

Vertical profile of CO₂ concentration was measured in the Institute of Nature Study. Especially high concentration layer was found at the bottom of the tree canopy in summer. Vertical difference of concentration around the leaf layer was consistent with the vertical flux of CO₂.

引用文献

- 菅原広史, 清水昭吾, 成田健一, 三上岳彦, 萩原信介. 2011. 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.
- 菅原広史. 2020. 自然教育園における二酸化炭素吸収量の経年変化, 自然教育園報告, 52: 1–6.
- 菅原広史, 田畑龍謹. 2023. 自然教育園における葉面積指数の季節変化, 自然教育園報告, 55: 27–30.
- 田畑龍謹. 2024. 都市緑地における CO₂ 吸収に関する観測的研究, 防衛大学校修士論文, 68pp.
- Hirano T., Sugawara H., Murayama S., & Kondo H. 2015. Diurnal Variation of CO₂ Flux in an Urban Area of Tokyo. SOLA, 11, 100–103.