

# 札幌管区気象台で観測された CO<sub>2</sub> 濃度の日変動の特徴

稲飯洋一（札幌管区気象台 気象防災部予報課）  
藤田遼（気象研究所 気候・環境研究部）  
山口小雪（札幌管区気象台 気象防災部予報課）

## 1. はじめに

化石燃料消費などにより人為的に放出された二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）は2割が海洋に、3割が陸上植物に吸収され、残りが大気中に蓄積し地球温暖化の主要な原因物質となっている（例えば Friedlingstein et al., 2022）。有効な CO<sub>2</sub> 濃度抑制策を講じるためには、様々な空間スケール（全球、国、都市レベル）で CO<sub>2</sub> の放出・吸収・輸送過程を理解することが不可欠である。しかし観測に要するコストの高さにより、CO<sub>2</sub> 濃度を定常的に観測している地上サイト数は限られており、さらにその多くは背景量をモニタリングすることを目的としているため、人為的な CO<sub>2</sub> の主要な放出源である都市環境中の観測サイト数は非常に少ない。

このような背景の下、気象研究所では 2022 年度からローコストな観測システムを用いた CO<sub>2</sub> 観測網の拡充に取り組んでおり、2023 年に札幌管区気象台においても試験的な CO<sub>2</sub> 濃度観測が実施された。本研究では、その観測データに見られる CO<sub>2</sub> 濃度変動の特徴や、都市環境中における CO<sub>2</sub> 濃度変動要因などについて考察する。

## 2. データ

2023 年 3 月 27 日から 5 月 23 日にかけて札幌管区気象台の 4 階、普段は人の出入りがない保管庫の天井にあるロスナイ換気の外気吹き出し口に Udome 社製新型 CO<sub>2</sub> 測定器を設置する事で連続観測を行った。使用されたセンサーは SenseAir 社製の NDIR 方式 K30 (<https://senseair.com/product/k30/>) であり、測定間隔は 10 秒で、CO<sub>2</sub> 濃度に加えて観測空気の気温と相対湿度も測定している。観測データは 10 分平均し、札幌管区気象台が露場で観

測している外気気温、風向・風速、日照時間の 10 分値データと合わせて解析に用いた。

解析に先立ち、CO<sub>2</sub> 測定器を保管庫へ設置する前後にて気象研究所で高精度のレーザー分光式測定器と CO<sub>2</sub> 濃度の並行観測を行った。その結果、両者の観測濃度には系統差があるものの、日変動は概ね一致することが確認された。本研究で示す CO<sub>2</sub> 濃度は系統差の補正前のため絶対値の信頼性は高くはないが、解析には 21 日移動平均値からの偏差を用いるため、解析結果及び日変動に関する議論への影響は小さいと判断した。

## 3. 手法と結果

CO<sub>2</sub> 濃度は、都市環境中における人間活動に伴う放出や植生の光合成による吸収と呼吸による放出、都市域外からの大気輸送などにより変動すると考えられる。札幌で観測された CO<sub>2</sub> 濃度偏差の時系列（第 1 図）からは、日変動が卓越していることが見て取れた。さらにその日変動の特徴は、日照時間や平日/休日によって異なっている様子も見て取れた（図略）。

人間活動は現地時刻及び休日/平日に、植生の光合成は日照時間に、大気境界層の発達や局地風は現地時刻及び気象条件（総観場に加えて晴れか曇りかなど）に依存すると考えられる。観測された CO<sub>2</sub> 濃度偏差の日変動の特徴は、それらの要因、すなわち人間活動と植物活動、大気境界層や局地風の日変動の影響を受けた結果であると考えられる。

これらの影響をできる限り切り分けて議論するために、人間活動が異なる平日と休日を区分し、さらに光合成の影響が異なる晴れの

日（日照時間 5 時間/日以上）と曇りの日（同 2 時間/日未満）を区分して、これら 2 つの曜日カテゴリーと 2 つの天気カテゴリーを掛け合わせた計 4 つのカテゴリーそれぞれについて現地時刻 1 時間毎の CO<sub>2</sub> 濃度偏差の平均値を計算し、平均的日変動の影響について推定した（第 2 図）。

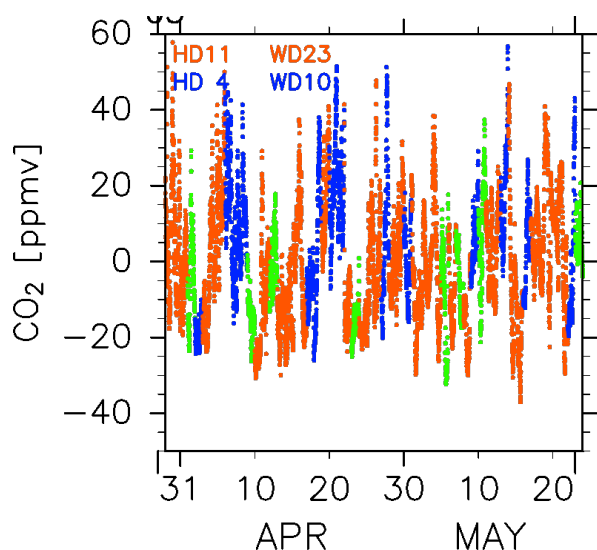
その結果得られた特徴を以下にまとめる。

特徴 1) 深夜から明け方にかけてはカテゴリー間の CO<sub>2</sub> 濃度差が小さい。

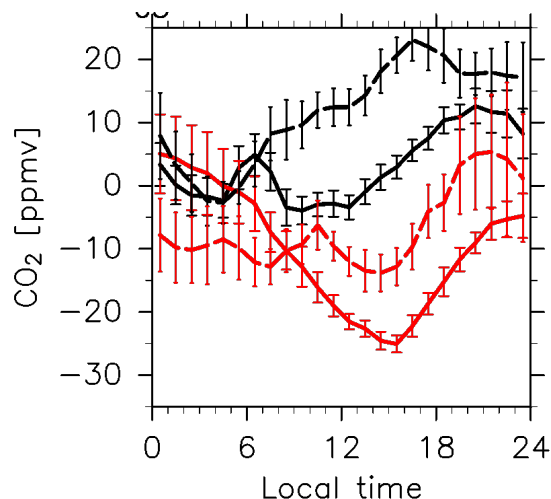
特徴 2) 同じ天気カテゴリーで比較すると平日の方が休日より日中午後の時間帯をピークとして 30 ppmv 程度 CO<sub>2</sub> 濃度が高い。

特徴 3) 同じ曜日カテゴリーで比較した場合、日中の時間帯は曇りの日よりも晴れの日の方が 10-20 ppmv 程度 CO<sub>2</sub> 濃度が低い。

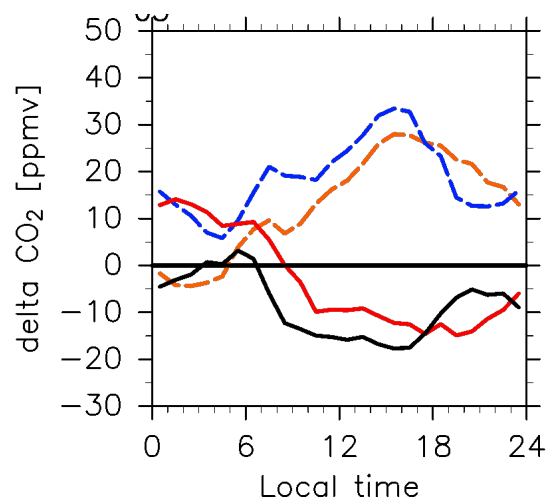
4 つのカテゴリーそれぞれの CO<sub>2</sub> 平均濃度の差を示したのが第 3 図であり、図から上記の特徴がより明確に見てとれる。



第 1 図：3 月 28 日から 5 月 22 日までの 10 分平均 CO<sub>2</sub> 濃度偏差 (21 日移動平均値からの偏差) の時系列。赤点は晴れの日（日照時間が 5 時間/日以上）、青点は曇りの日（日照時間が 2 時間/日未満）、緑点はどちらでもない日を示す。



第 2 図：曇りの平日（黒破線）、晴れの平日（黒実線）、曇りの休日（赤破線）、晴れの休日（赤実線）について平均した CO<sub>2</sub> 濃度の日変動。バーは標準誤差を示す。



第 3 図：曇りにおける平日-休日の差（青破線）、晴れにおける平日-休日の差（橙破線）、平日における晴れ-曇りの差（黒実線）、休日における晴れ-曇りの差（赤実線）。

#### 4. 1 日変動要因に関する考察

上記の特徴 1) について、深夜から明け方にかけての時間帯は、曜日に関係なく人間活動が少なく天気に関係なく日照がない時間帯のため、CO<sub>2</sub> 濃度は 4 つのカテゴリー区分に依存しなかったと考えられる。

特徴 2) については、休日よりも平日の方が

人間活動が活発で CO<sub>2</sub> 放出量も大きくなるため、その差が CO<sub>2</sub> 濃度として現れていると考えられる。

特徴 3) については、植生の光合成による CO<sub>2</sub> 吸収は日照時間に依存していること、境界層の発達程度や局地風の日変動も晴れの日と曇りの日で異なることが影響していると考えられる。そこで、観測期間中の札幌管区気象台の風向頻度分布（風配図）を確認したところ、晴れの日・曇りの日ともに北西風と南東風の頻度が高いが、晴れの日に限って西風から南西風の頻度も高いことが示された。さらに風向別・時間帯別の CO<sub>2</sub> 濃度を調べたところ、山地の広がる方角である西風-南西風-南風時の CO<sub>2</sub> 濃度が特に日中の時間帯は低いことが示された。これらのことから、特徴 3) の要因は、天気によって風向頻度分布が異なることに加えて植生の光合成の影響も受けた結果であると推測される。

#### 4. 2 CO<sub>2</sub> 吸収/放出量に関する考察

観測地点周辺における CO<sub>2</sub> の吸収や放出について、大気境界層の厚さ、大気境界層内の CO<sub>2</sub> 濃度分布、大気境界層内外の大気質交換速度を仮定すれば、先述の特徴 2) と 3) を利用して CO<sub>2</sub> の放出量や吸収量に関する議論を行うことができる。最も単純な仮定として大気境界層の厚さを 1 km で時間変化なし、大気境界層内の CO<sub>2</sub> 濃度は均一、大気境界層内外の大気質交換はない、と仮定すると、特徴 2) の「休日に比べて平日の日中の CO<sub>2</sub> 濃度が 30 ppmv 高い」ことから、平日の CO<sub>2</sub> 放出フラックスが休日に比べて 15 gC/m<sup>2</sup> 大きいという推定値を導くことができる。さらに札幌圏の都市面積を 100 km<sup>2</sup> と仮定すると、CO<sub>2</sub> 放出量の増加分として 5x10<sup>9</sup> gCO<sub>2</sub>/day という値となる。この値は札幌市の日平均 CO<sub>2</sub> 排出量（札幌市, 2023）のおよそ 20% に相当、すなわち休日に比べて平日は CO<sub>2</sub> 排出量が 2 割増加するとの試算となる。

同じ仮定を、特徴 3) の「曇りの日に比べて晴れの日の日中の CO<sub>2</sub> 濃度が 10-20 ppmv 低い」ことに適用し、濃度低下の原因が植生による吸収のみであったと仮定すると、CO<sub>2</sub> フラックスにして 5-10 gC/m<sup>2</sup> の吸収と計算できる。この吸収フラックスは初夏の落葉針葉樹林の吸収フラックス（国立環境研究所、<https://www.nies.go.jp/fushigi/050713.html>）の約 1/6~1/3 に相当する。札幌市南西部の森林帯の植生は常緑針葉樹と落葉樹の混合林であることと観測期間を考えると、大気境界層に関する仮定が単純すぎる点には注意が必要であるが、植生による吸収フラックスの推定値として見当違いというほど悪いものではないかもしれない。今後、より慎重な議論や仮定の仕方を工夫することで CO<sub>2</sub> 濃度と気象要素の同時観測から周辺地域の CO<sub>2</sub> フラックスを推定する手法を提案するような研究として発展させたい。

#### 参考文献

- Friedlingstein, P., et al.: Global Carbon Budget 2022, *Earth Syst. Sci. Data*, 14, 4811–4900, <https://doi.org/10.5194/essd-14-4811-2022>, 2022.
- 札幌市: 「札幌市気候変動対策行動計画」進行管理報告書（2021 年速報値・2019 年確定値）, [https://www.city.sapporo.jp/kankyo/ondanka/kikouhendou\\_plan2020/documents/02\\_2021\\_report\\_material.pdf](https://www.city.sapporo.jp/kankyo/ondanka/kikouhendou_plan2020/documents/02_2021_report_material.pdf), 2023.
- Stein, A. F., et al.: NOAA's HYSPLIT atmospheric transport and dispersion modeling system, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 96, 2059–2077, <http://dx.doi.org/10.1175/BAMS-D-14-00110.1>, 2015.