

コロナ禍における通勤電車内の二酸化炭素濃度

古市裕子

Carbon dioxide concentration in commuter trains in the Corona Disaster

Yuko FURUICHI

Abstract

Carbon dioxide concentrations were measured in commuter trains for a six-month period from April to September 2020. A state of emergency for COVID-19 has been declared in seven prefectures, including Osaka Prefecture from April 7 to May 25, 2020. The number of commuter train passengers has fluctuated significantly over this six-month. Carbon dioxide concentrations decreased significantly both in the morning and in evening as the number of passengers decreased.

Key words: commuter train, carbon dioxide, ventilation, NDIR

I 緒言

2019年から世界中に拡大した、新型コロナウイルス(COVID-19)はその感染経路が、当初は咳やくしゃみなどによる飛沫感染、または接触感染が主な感染経路として報じられたが、やがて、エアロゾルによる感染の可能性が指摘された[1]。飛沫感染は、咳やくしゃみの飛沫(直径 $5\mu\text{m}$ 以上)が飛び散り、これを呼吸とともに吸い込むことによる感染であり、その距離は約1m以内程度、エアロゾル感染ではウイルスを含んだ直径 $5\mu\text{m}$ 未満のエアロゾルが空气中を浮遊しているものを吸い込むことによって感染するものであり、数m以上の距離を移動して他者に感染する可能性がある[2,3]。

そこで、感染拡大防止のために注目されるようになったのが、室内の換気問題である。国や自治体は、飲食店、遊技施設等、集会場などで換気の徹底を要請した[4]。換気状況を確認する方法として、「二酸化炭素濃度測定器を使用し、室内の二酸化炭素濃度が1000ppmを超えていないかを確認することも有効であること」(令和2年11月27日、厚生労働省)とされており、換気の程度を表す指標として二酸化炭素濃度(以下 CO_2 濃度)が注目されることとなった。環境大気中の CO_2 濃度は約400ppm(0.04%)程度であるのに対し、人が呼吸によって吐き出す CO_2 濃度は平均3~4%程度と言われており、ヒトの呼吸は室内の CO_2 濃度上昇に大きく寄与する。一般に、室内の CO_2 濃度に関する研究は、学校の教室やオフィス内のものが多く[5-7]、これは、在室人数や換気空調条件、開口面積、測定地点などが調整しやすい環境であるためと推測される。

今回、測定対象としたのは2020年4月から9月までの実際の通勤電車内の CO_2 濃度である。鉄道車内については飲食店等と比較すると、感染拡大防止を目的とした換気の徹底などの指導は特にされておらず、その対応は各鉄道会社によって異なる。2020年3月2日、新型コロナウイルス感染拡大を受けて、全国の小学校、中学校、高等学校、特別支援学校が春休みまで臨時休業となった。そして翌月の4月7日、大阪府を含めた7都府県に緊急事態宣言を発出されたことを受けて、朝夕の通勤通学電車内の乗客数は激減した。この緊急事態宣言は5月25日まで約50日間続いた。本調査はこの大きな社会の変化を相対的に数字で表せないか、という観点から測定したものである。そのため、測定条件の検討等は不十分ではあるが、いくつかの傾向が見られたため、紹介する。

II 方法

1) 調査地点及び調査期間

調査対象の通勤電車は大阪府内を走る鉄道車両で、乗車時間約20分間の区間Aと乗車時間約15分間の区間Bの2区間である。なお、乗車したのはどちらも各駅停車の電車である。調査期間は2020年4月2日から9月30日の6か月間で、測定した時間帯は区間Aの朝が7時15分から8時35分の間、夕方が17時30分から19時35分の間、区間Bの朝が7時40分から9時0分の間、夕方が17時10分から18時25分の間である。

2) 調査方法

測定にはティアンドデイ社製デジタル計測データロガ

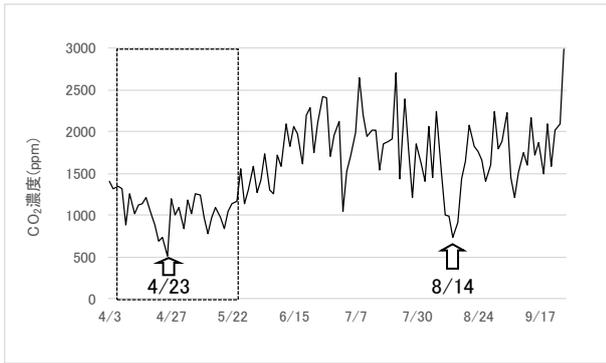


図1 区間Aの朝の通勤時のCO₂平均濃度の変化

一おんどりTR-76Uiを使用した。本装置はNDIR方式(非分散型赤外方式)のCO₂センサーを内蔵しており、分解能は1ppm、応答性は90%応答で約1分である。データ取り込みの間隔は1分間(2020年4月2日から4月7日のみ5分間隔)とした。測定結果はデータロガーからCSVファイル形式でPCに保存し、その後の解析に用いた。測定時は車両内雰囲気(車内)の空気を測定しつつ、測定者の呼気の影響が最小となるよう、入れ口が開放系の靴に装置が上向きになるように入れ、床上60~70cmの位置で保持するように持って乗車した。GWやお盆の時期の朝の時間帯を除いて、おおむね座席はほぼ埋まっており、つり革は空きが多い程度の混雑度だった。測定はできるだけ、出入口扉部分(扉)を避けて車両中央部付近で行った。窓の開閉についてはなりゆきであったが、ほとんどの窓が閉まっていることが多かった。

3) データの取り扱い

CSVファイルの1分間毎のデータと乗車した電車の時刻表とを照らし合わせて、乗車区間内CO₂濃度を抜き出し、その平均値をその時間帯のCO₂濃度とした。なお、測定器の応答に約1分間かかることから、乗車直後1分間のデータは棄却した。電車の遅延などで時刻表とデータとずれが発生している場合のみ、実測データを優先して乗車中CO₂濃度とした。

III 結果

1) 朝の通勤電車内二酸化炭素濃度

(1) 区間 A

図1に区間Aの朝の通勤時間帯のCO₂濃度の日変動を示す。破線の四角で囲んだ期間が緊急事態宣言発出期間である(2020年4月7日~5月25日。以下同様)。CO₂濃度は緊急事態宣言が発出された4月7日から急激に下がり、4月23日に緊急事態宣言発出期間中最低の673ppmを示した。その後、CO₂濃度はゆっくりと上昇して、6月には緊急事態宣言発出前レベルまで戻った。次に濃度が下がったのはお盆の時期で、8月14日に調査期間中最低濃度である、666ppmとなった。その後はほぼ横ばいで、1200ppmから1600ppm近辺を推移した。

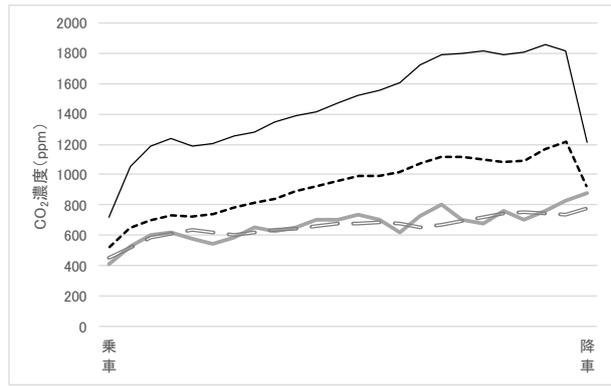


図2 区間Aの朝の通勤時のCO₂濃度の変化
(実線:2020年7月、破線:宣言期間中、灰色:4月23日、白抜き破線:8月14日)

次に、区間Aの朝の時間帯で、乗車してから降車するまでの間のCO₂濃度の変化を図2に示す。破線グラフは緊急事態宣言期間中の平均値、実線は緊急事態宣言や長期休暇等の影響が小さいと思われる、2020年の7月の平均値である。灰色の太線は宣言期間中最低濃度だった4月23日、白抜き破線は調査期間中の最低濃度を示した8月14日ときのCO₂濃度変化である。

7月平均のグラフと比較すると、緊急事態宣言期間中は明らかにCO₂濃度が低かった。CO₂濃度の変化パターンは降車駅で多くの乗客が乗り換えるため、降車駅に近づくにつれ、乗客数が増加しており、それに伴い車両内CO₂濃度が上昇していく様子が分かる。また、CO₂濃度がそれぞれ673ppm、666ppmと低かった、4月23日と8月14日のCO₂濃度の変化はよく似ており、その濃度上昇は緩やかであった。両日に関しては電車内の混雑程度は、乗車時から降車時まで「座席は埋まっているが、立っている乗客はまばら」な状態で乗客数の変化があまりなかったため、CO₂濃度の上昇も緩やかであったと推測された。

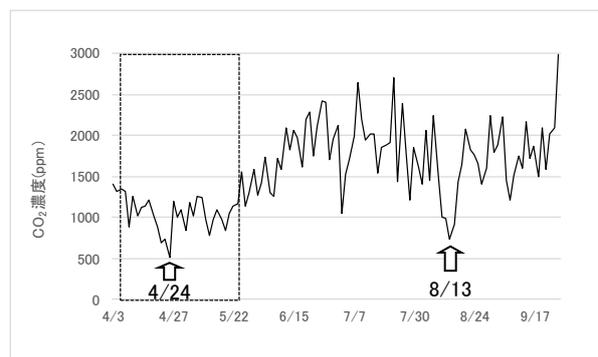


図3 区間Bの朝の通勤電車内CO₂平均濃度の変化

(2) 区間 B

区間Bの朝の通勤時間帯のCO₂濃度の日変動を図3に示す。最もCO₂濃度が低かったのは、緊急事態宣言中の4月24日であり、511ppmであった。その後、濃度上昇に転じた後、区間Aと同じようにお盆休み期間にCO₂濃度が下がり、8月13日に739ppmを示した。一方、区間

Bの朝の調査時間帯は区間Aと異なり、調査開始の4月当初からCO₂濃度が低い傾向があった。これは、区間Bの朝の調査時間帯は通勤客だけでなく、通学のために利用している学生の割合が多く、すでに3月から学校園が休校になっていたことが影響していると思われる。

以上をまとめると、朝の時間帯はA、B両区間とも、2020年4月7日から4月24日までの期間と8月11日から18日までのお盆の期間にCO₂濃度が低かったことが分かった。

次に区間Bの朝の時間帯で、乗車してから降車するまでの間のCO₂濃度の変化を図4に示す。実線は7月の平均値、破線は緊急事態宣言中の平均値、灰色太線は緊急事態宣言中、最もCO₂濃度が低かった4月24日、白抜き破線はお盆の時期の最低濃度だった8月13日の濃度変化である。区間Bは、乗車時から降車時まで電車内CO₂濃度はほぼ横ばいの傾向であった。これは現場の印象を振り返ると、乗降客の比率がほぼ同じ程度で、電車内の混雑も変化が少なかったことが影響して、CO₂濃度の変化が少なかったためと思われる。

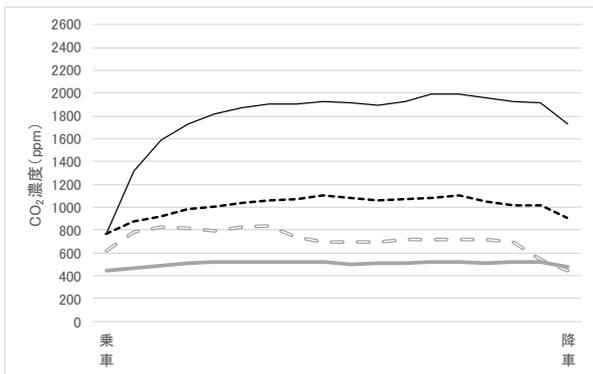


図4 区間Bの朝の通勤時のCO₂濃度の変化
(実線:2020年7月、破線:2020年4月7日~5月25日、白抜き破線:8月13日、灰色:4月24日)

2) 夕方の通勤電車内CO₂濃度

(1) 区間A

区間Aの夕方の通勤時間帯のCO₂濃度の日変動を図5に示す。緊急事態宣言発出後、CO₂濃度は急速に減少し、5月8日に最小値615ppmとなった。その後は濃度上昇に転じ、9月30日まで緩やかな上昇傾向を維持した。朝の時間帯とは異なり、夏休みやお盆の時期によ

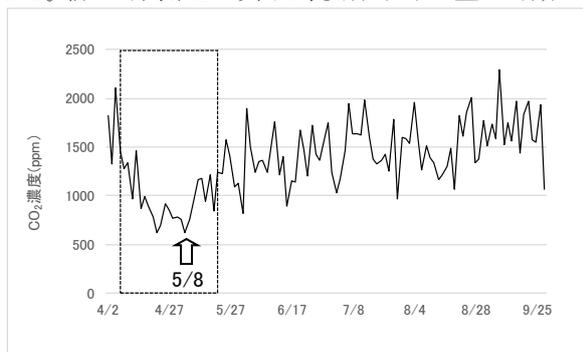


図5 区間Aの夕方の通勤時のCO₂平均濃度の変化

るCO₂濃度の減少は見られなかった。

次に区間Aの夕方の時間帯で、乗車してから降車するまでのCO₂濃度変化を図6に示す。朝の通勤時間帯とは逆に、徐々に乗客が減ってゆき、それに伴って車両内CO₂濃度は緩やかではあるが、減少していく様子が見えがえた。

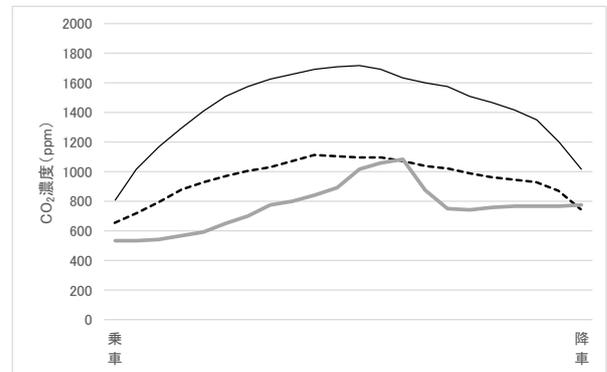


図6 区間Aの夕方の通勤時のCO₂濃度の変化
(実線:2020年7月、破線:2020年4月7日~5月25日、灰色:5月8日)

(2) 区間B

区間Bの夕方の時間帯のCO₂濃度の日変化を図7に示す。緊急事態宣言発出にともなって、CO₂濃度は低減し、4月14日から5月21日まで600ppm前後を推移した。その後は濃度上昇に転じた。最もCO₂濃度が低かったのは、4月30日の511ppmであった。区間Aと同様、お盆の期間にCO₂濃度の減少は見られなかった。区間Bの夕方については4月14日から6月1日頃まで平均619ppm(変動11.6%)と日変動が小さく、緊急事態宣言が終わった後も低濃度の期間が維持されたのが特徴的であった。

区間Bでの夕方の通勤時間帯の乗車から降車までのCO₂濃度変化のパターンを図8に示す。実線は2020年7月の平均値、破線は緊急事態宣言中の平均値、灰色は最小濃度を示した4月30日のCO₂濃度変化である。緊急事態宣言期間中(破線)はほとんど乗車によるCO₂濃度変化がなく、4月30日に至ってはほぼ外気に近い雰囲気(457~538ppm)だった。

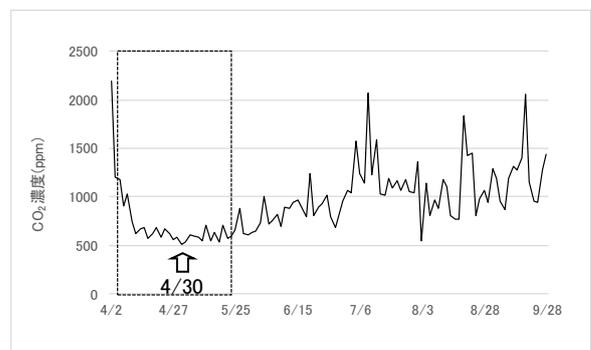


図7 区間Bの夕方の通勤時のCO₂平均濃度の変化

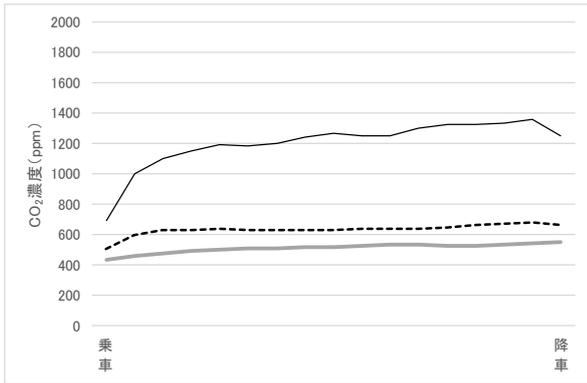


図8 区間Bの夕方の通勤時のCO₂濃度の変化
(実線:2020年7月、破線:2020年4月7日~5月25日、灰色:4月30日)

IV 考察とまとめ

本調査開始前は、通勤電車内のCO₂濃度は緊急事態宣言発出中の期間と夏休み期間、中でもお盆休み期間で激減するだろうと予想していた。しかし実際に測定してみると、このような濃度変化が観測されたのは朝の時間帯のみであったことが分かった。また、緊急事態宣言期間中に継続してCO₂濃度が低かったのではなく、宣言解除(5月25日)の1か月前、4月25日頃からCO₂濃度の上昇が始まっていた。これは、ゴールデンウィーク前の月末ということで出勤する通勤客が増えたためと推察された。また、夏休み期間の夕方については2020年8月頃には様々な商業施設がすでに営業を再開しており、通勤客以外の乗客が増えた結果、朝の時間帯のような濃度低減はみられなかったと思われる。

本調査では乗車時刻や混雑の程度、窓の開閉状況など、不確定な要素が多数含まれており、また、測定者が計測データロガーを持ち運んでいたため、測定者の呼気がNDIRモニターに影響していた可能性を完全には否定できない。しかし、第1回緊急事態宣言発出時の通勤電車内CO₂濃度の相対的な変化をグラフ化することができたことは意義深いと考えている。電車内の換気については、「鉄道車両-旅客車-車体設計通則」に基づき、通風器、窓の開閉部、側出入口の開閉及び/又は強制換気装置換気装置によって定員乗車時の必要換気量が計算されている[8]。なお、この必要換気量は自然換気量と強制換気量の総和で取り扱われ、その割合は車両の構造や運用条件(扉面積が大きい、各駅停車で頻りに扉が開く、特急電車で自然換気量が少ない、など)その状況に応じて調整されている。しかし、今回の測定では混雑の程度によっては、「乗り心地環境を良好に保つための基準濃度値」の1500ppmを超えるCO₂濃度が計測されることがあった。特に列車の遅延や、振り替え輸送時など混雑レベルが上昇すると、それに伴ってCO₂濃度が大きく上昇した。暑さ、寒さ、降雨、騒音など、周辺環境等の条件によっては窓を開放することは難しい場合もあるが、混雑の程度が高い場合は車内のCO₂濃度低減に一定の効果があると考えられる。地下鉄の実車両を用いた実験でも、車両内の空気交換率は、窓の開口面積と強い相関が

あることが報告されている。[9]。

CO₂濃度そのものが直ちに感染症の感染拡大リスクの高低を示すものではないが、リスク要因の一つである「換気の悪い密閉空間」を改善するために、混雑状況に応じて機械換気に加えて窓を開けて換気量を増やす、飛沫の発生量を抑制するために車内でのマスクの着用、会話は控えるよう注意喚起する、などの対策は重要であると考えられた。

参考文献

- 1) World Health Organization (WHO). Coronavirus disease (COVID-19): How is it transmitted?. <https://www.who.int/news-room/questions-and-answers/item/coronavirus-disease-covid-19-how-is-it-transmitted> 「WEBサイトの内容は2022年7月19日に確認した」
- 2) World Health Organization (WHO), Modes of transmission of virus causing COVID-19: implications for IPC precaution recommendations (2020). <https://www.who.int/news-room/commentaries/detail/modes-of-transmission-of-virus-causing-covid-19-implications-for-ipc-precaution-recommendations> 「WEBサイトの内容は2022年7月19日に確認した」
- 3) 竹川暢之. エアロゾルと飛沫感染・空気感染. エアロゾル研究 2021; **36**(1): 65-74
- 4) 新型コロナウイルス感染症のまん延の防止のために必要な措置及び同感染症の感染の防止のために必要な措置、厚生労働省告示第七十六号、(令和二年四月七日)
- 5) N. Canha, C. Mandin, O. Ramalho, G. Wyart, J. Ribéron, C. Dassonville, O. et al. Assessment of ventilation and indoor air pollutants in nursery and elementary schools in France. *INDOOR AIR* 2016; **26**: 350-365
- 6) SS Korsavi, A Montazami, D Mumovic. Indoor Air Quality (IAQ) in Naturally-ventilated Primary Schools in the UK: Occupant-Related Factors. *Building and Environment* 2020; **180**: 106992
- 7) 金勲, 小林健一, 開原典子, 柳宇, 鍵直樹, 東賢一他. 事務所建築の室内空気環境管理に関する調査 その8 冷暖房期における二酸化炭素濃度の実態. *空気調和・衛生工学大会学術講演論文集* 2020. 293-296
- 8) 「鉄道車両-旅客車-車体設計通則」: JIS E 7103: 2006
- 9) Shinohara N, Sakaguchi J, Kim H, Kagi N, Tatsu K, Mano H et al. Survey of air exchange rates and evaluation of airborne infection risk of COVID-19 on commuter trains. *Environment International*, 2021; **157**: 106774