

(2) DOAS 法を用いた 生活環境圏における CO₂ 濃度の計測と検証

小澤 花音¹・飯田 大貴²・奥出 信一郎³・久世 宏明⁴・桑原 祐史⁵

¹学生会員 茨城大学大学院 理工学研究科 (〒316-8511 茨城県日立市中成沢町 4 - 12 - 1)

E-mail:18nm811x@vc.iabraki.ac.jp

²非会員 国際航業株式会社 (〒183-0057 東京都府中市晴見町 2-24-1)

E-mail:twinspica0350@outlook.jp

³非会員 千葉大学 環境リモートセンシング研究センター (〒263-8522 千葉県稲毛区弥生町 1 - 33)

E-mail:shinichiro-okude@chiba-u.jp

⁴非会員 千葉大学 環境リモートセンシング研究センター (〒263-8522 千葉県稲毛区弥生町 1 - 33)

E-mail:hkuze@faculty.chiba-u.jp

⁵正会員 茨城大学 広域水圏環境科学教育研究センター (〒316-8511 茨城県日立市中成沢町 4 - 12 - 1)

E-mail:yuji.kuwahara.rs@vc.ibaraki.ac.jp

長距離、広域で濃度計測を行うことができる DOAS 法を用いることで、生活環境圏における CO₂ 濃度を計測し、人間活動による CO₂ 濃度の変動を把握することができる。しかし、実際に計測を行った際に CO₂ 濃度が極端に上昇する現象が見られた。そこで、本論では、バックグラウンドデータを用いた計測値の補正方法を検討するとともに、定点観測による計測値との比較を行うことにした。その結果、定点観測と DOAS 法、二つの方法により示された CO₂ 濃度の時間別平均値は概ね同様の変動傾向が見られた。しかしバックグラウンド補正を行った値でも、朝の太陽光とリフレクタの位置が重なる時間帯においては CO₂ 濃度が大きく出るといった現象が得られたため、その現象について考察した。

Key Words: CO₂ concentration, DOAS, fixed point observation, transmittance, optical thickness

1. はじめに

地球温暖化の要因となる温室効果ガスのひとつである CO₂ は、地球規模で濃度の観測・分析が行われている¹⁾。この地球規模での観測の多くは、定常流によって拡散された、全球の平均的な CO₂ 濃度の傾向を捉えることを目的とした観測であるため、都市・地域レベルでの人間生活による直接的な CO₂ 濃度の変動を把握し議論することは困難である。

そこで、茨城大学では 2007 年から茨城県内の 10 箇所に電子百葉箱（外気吸入用のファンを内蔵）を設置し、概ね街路樹の樹冠以下の生活環境圏における CO₂ 濃度の定点観測を行ってきた²⁾。しかし、定点観測による濃度値は、平面的にどの程度の範囲を代表する数値であるのか、参考文献³⁾に目安とする範囲は記載されているが、その空間は被覆や地形など、地域の自然条件や気象など、日々変動する要因によって異なる。また、排出するガスの多さ、出勤などによる交通量の多さ等から CO₂ 濃度の

平均的な濃度の計測が困難となる可能性が高いことや、衛星を利用した観測では地表面付近での測定感度が低いなどのことから、人間の活動範囲内である生活環境圏の CO₂ 濃度を広域で測定する方法はこれまでになかった。

差分吸収分光(DOAS: Differential Optical Absorption Spectroscopy)法は大気中の長光路で光を伝搬させ、光路中に存在する微量成分(CO₂, エアロゾル, など)の平均濃度を計測する手法である。長距離、広域で濃度計測を行うことができること、光源を変えることにより様々な物質を計測することができるため複数の大気汚染物質を同時計測することが可能である⁴⁾。飯田ら(2017)では、DOAS 法を用いて生活環境圏における大気中の CO₂ の計測を行い、CO₂ 濃度を算出した際、CO₂ 濃度が極端に上昇する現象が見られた⁵⁾。この現象に対して本研究ではバックグラウンドデータを用いて補正を行うことで対策を試みた。また、DOAS 法による CO₂ 濃度の計測値と定点観測による計測値との差について検討した。

2. 研究の方法

(1) 使用データ

本研究では2017年12月20日に茨城大学工学部日立キャンパス・多賀高校間でDOAS法によるCO₂濃度の計測を行った結果と同日同時刻に日立キャンパスに設置した電子百葉箱内のセンサによって得られたCO₂濃度データを使用し、比較検証を行った。

(2) 使用機器

a) ASE 光源

ASE(Amplified Spontaneous Emission)光源は近赤外光の半導体光源である。(半導体光源：) ダイオードレーザーなどの種光源をエルビウムドープファイバによって増幅させることで広帯域において高出力な近赤外光を発生させることができる。発光波長は1530~1610 nm、総出力は200 mWである。

b) iHR550 分光器

計測には堀場製作所製のiHR550分光器を使用した。センサーには液体窒素冷却のSymphonyIGA-1700を使用した。波長分解能は最大で0.046 nm、計測波長レンジは可変である。回折格子は3枚搭載し、その中から、1500 nm付近で約50 nmの波長幅、分解能0.046 nmを達成する900 lines/mmのものを使用した。

c) 望遠鏡

望遠鏡は、投光用、受光用ともにVixenのものを使用した。投光用には、ポルタII Vixen R130RF 対物レンズ有効径130 mmを、受光用にはVixen R200SS 対物レンズ有効径200 mmを使用した。

d) レトロリフレクタ

径約100 mmの円形のを3つ繋げたものを利用した。また、それらを測量用の三脚に設置し、多賀高校の屋上の手すり部分に固定した。

e) CO₂濃度測定器(百葉箱)

CO₂濃度の定点観測には、株式会社ユードムの設置型CO₂濃度測定器を使用している。このCO₂濃度測定器はSenseAir社製のセンサを搭載し近赤外線を用いることで計測を行っている。

f) 風向風速計

風向風速計は、METER社のカップ式風向風速計を用いている。台風のような強風にも耐えうる耐久性を保持しており測定範囲0-58 m/s、分解能0.45 m/sとわずかな微風でも検知することが可能である。

3. 解析理論

DOAS法によって得られたスペクトルの解析には

Lambert Beerの法則を適用することができる⁴⁾。

取得した光源のスペクトル強度 $I(\lambda)$ は、大気の影響を受けていない光源のスペクトル強度 $I_0(\lambda)$ 、光学的厚さ $\tau(\lambda)$ を用いて以下のように与えられる。

$$I(\lambda) = I_0(\lambda)e^{-\tau(\lambda)} \quad (1)$$

以上の式を用い、スペクトル解析を行うことで、光学的厚さ $\tau(\lambda)$ が得られる。

$$\tau(\lambda) = \ln\left(\frac{I_0(\lambda)}{I(\lambda)}\right) \quad (2)$$

本研究では千葉大学で得られたシミュレーションデータを用い、本実験で得られた近赤外反射光の強度から相対的にCO₂の濃度を算出した。シミュレーションの光学的厚さ τ は光路長 L 、吸収断面積 $\sigma(\lambda)$ 、分子数密度 n を用いて以下のように与えられる。

$$\tau = L\sigma(\lambda)n \quad (3)$$

光学的厚さと気温 T はCO₂濃度に比例し光路長は反比例する。これらのことからCO₂濃度は以下の式で示すことができる。ここにおける添え字の h は日立市、 c は千葉大学で得られたシミュレーションデータであることを示している²⁾。

$$\text{CO}_{2h} = \text{CO}_{2c} \cdot \frac{\tau_h}{\tau_c} \cdot \frac{L_c}{L_h} \cdot \frac{T_h}{T_c} \quad (4)$$

4. 結果

(1) 太陽光による近赤外光の減衰

実験を進める過程で、計測を行う際にASE光源による近赤外光の投光を止めた状態でもCO₂による近赤外光の減衰が確認された。これは太陽光に含まれた近赤外光が大気中のCO₂に吸収され、望遠鏡内に投光されたためと考えられる。図-1は12月20日の計測において取得したバックグラウンド光のデータの強度の最大値をプロットし、日射量と比較した図である。明け方と夕方におけるバックグラウンド光の強度と日射量の増減が一致していることが確認できる。以上のことから光源を止めた状態で見られる近赤外光の減衰は太陽光によるものと裏付けられた。

図-2は2017年12月20日14時00分の計測データである。Intensity1が計測された近赤外光の強度、Intensity(background)がバックグラウンドの強度、Intensity2

が計測された近赤外光の強度からバックグラウンドの近赤外光の強度を引いたスペクトルデータである。Intensity1 から求められる CO₂濃度は 2088.0ppm、Intensity2 から求められる CO₂濃度は 470.0ppm である。Intensity1 は Intensity(background) の影響を大きく受けていることが分かる。このことから、計測データから直後、又は直前のバックグラウンドのデータを差し引く補正をすることで、光路長が比較的短い場合においても正確な CO₂濃度値が算出できるといえる。図 - 3 は観測データから得られた CO₂の光学的厚さである。Optical Thickness1 が観測データから得られた光学的厚さ、Optical Thickness2 が観測データからバックグラウンドのデータを差し引いて求めた光学的厚さである。

(2) CO₂濃度の比較 (定点観測と DOAS)

図 - 4 は DOAS 法による計測で得られた CO₂濃度と定点観測により得られた CO₂濃度の時間別平均値の差を示す。CO₂濃度の差は ±20ppm ほどで、これは使用したセンサの誤差⁹⁾の範囲内であるため、概ね同様の変動傾向であるといえる。しかし、午前 9 時の CO₂濃度の平均値では 90ppm 近くの違いが出ている。バックグラウンドを差し引いた値でも、朝の太陽光とリフレクタの位置が重なる時間帯においては CO₂濃度が大きく出ている。この原因として、近赤外光 (太陽光) が近赤外光 (ASE 光源) に干渉することによる ASE 光源の過剰な減衰が考えられる。また、太陽の入光角度が小さい場合、大気を通過する距離が長くなり、太陽光による影響は強くなると考えられる。しかし、この現象に関する学術事例は少なく、

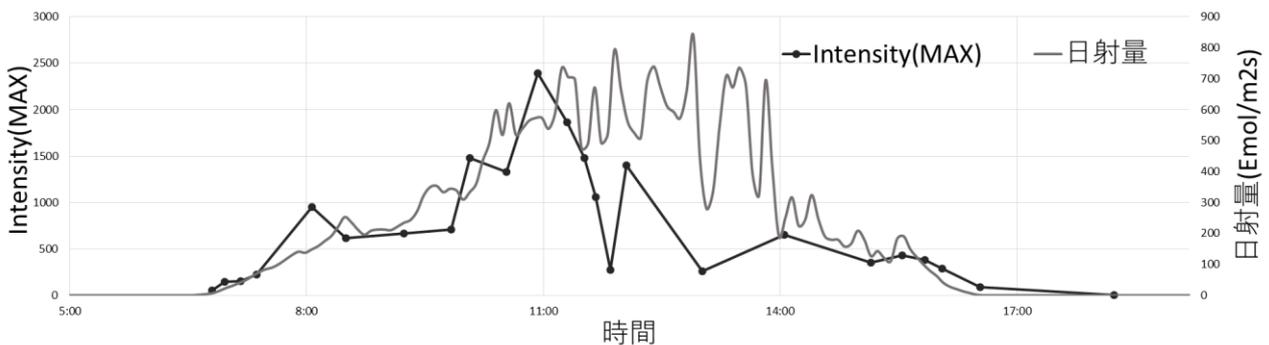


図 - 1 バックグラウンドデータの強度の最大値と日射量との比較

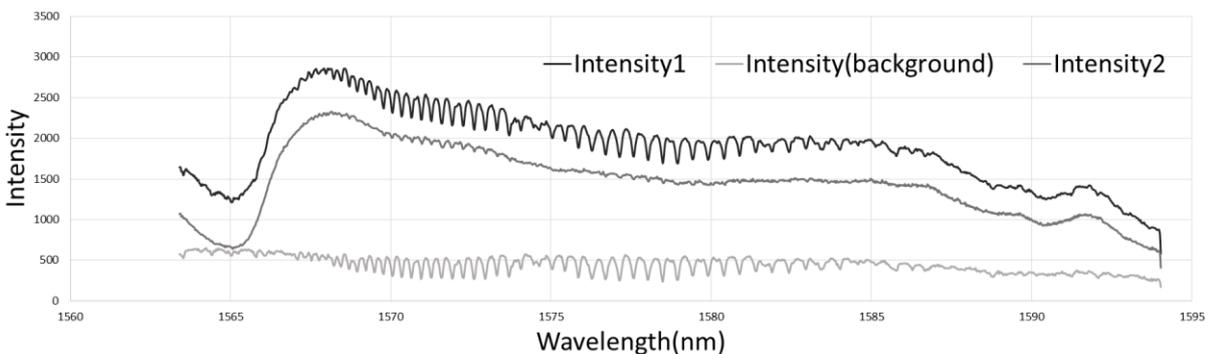


図 - 2 計測データの波形とバックグラウンドデータの波形(2017/12/20/14:00)

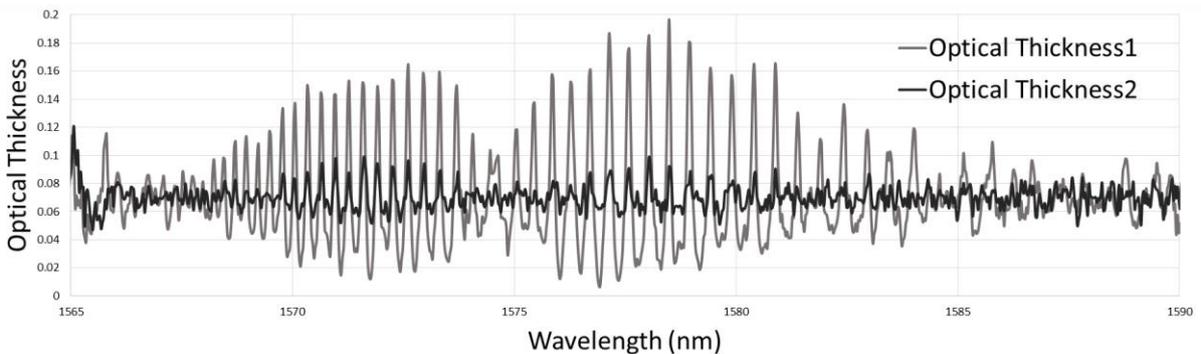


図 - 3 バックグラウンドの補正ありと補正なし CO₂濃度の工学的厚さ(2017/12/20/14:00)

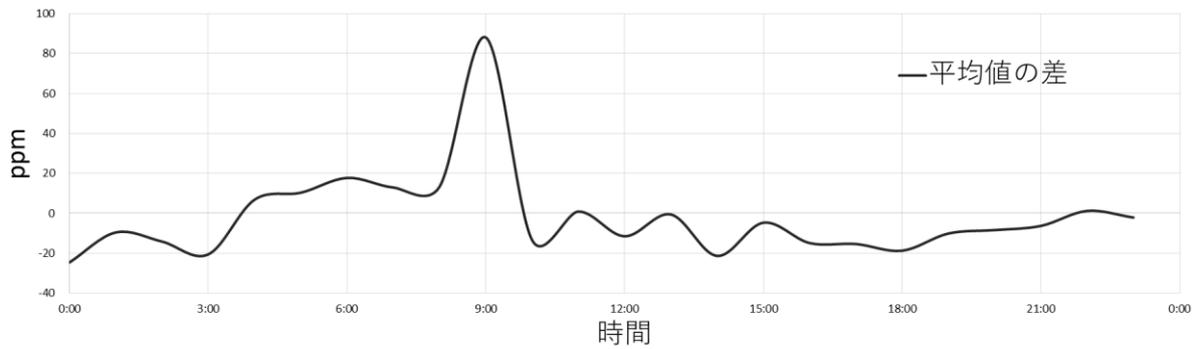


図 - 4 DOAS法と定点観測で得られたCO₂濃度の時別平均値の差(2017/12/20)

物理的メカニズムを示すことは難しいため、現時点では仮説にとどめる。

5. 結論

DOAS法を用いて計測を行い、バックグラウンドデータを用いた補正を試みた。その結果定点観測とDOAS法、二つの方法により示されたCO₂濃度の時間別平均値は概ね同様の変動傾向が見られた。しかし、朝の太陽光が低くパス間に重なる時間帯にCO₂濃度が極端に上昇する結果が得られた。これは太陽光はリフレクタに重なることによる近赤外光の減衰が原因であると考えられるが、この現象についての研究事例は少なく、今後この現象についての対処法を実験的に解決していくことが望ましい。

謝辞: 本論文は、文部科学省科学研究費助成事業(科研費：基礎研究(c)No.16K06528)、平成29年度千葉大学環境リモートセンシング研究センター共同利用研究課題(No.CJ16-09)の支援を受け実施したものである。ここに記して深甚なる感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 気象庁：温室効果ガスの観測，
<http://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/chishiki_ondanka/p05.html>，
(入手 2018年2月10日)。
- 2) 齋藤修，桑原祐史，安原一哉，小柳武和：茨城県におけるCO₂グリッド構想に関する検討，土木情報利用技術論文集，vol.17，pp.219-224，2008。
- 3) 河村武，橋本道夫：環境科学III-測定と評価，朝倉書店，pp.7-8，1990。
- 4) 齋藤隼人：可視域近赤外域における長光路差分吸収分光法を用いた都市大気中微量成分の計測，千葉大学審査学位論文，2015。
- 5) 飯田大貴，奥出信一郎，久世宏明，桑原祐史：DOAS法による生活環境圏におけるCO₂濃度の計測と検証，土木学会論文集F3，vol.73，No.2，II_33-II_40，2017。
- 6) 株式会社ユードム：設置型CO₂測定器，
<<http://www.udom.co.jp/products/co2/c2d-e01.html>>，
(入手 2018年6月13日)。