

## (48) 茨城大学工学部の CO<sub>2</sub> 濃度分布の検証及びセンサ校正の効率化

GONG Nan<sup>1</sup>・徐 宇陽<sup>2</sup>・桑原 祐史<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 学生会員 茨城大学大学院 理工学研究科 都市システム工学専攻  
(〒316-8511 茨城県日立市中成沢町 4-12-1)

E-mail: 21nm818g@vc.ibaraki.ac.jp

<sup>2</sup> 非会員 ヴェオリア・ジェネッツ株式会社 (〒262-0033 千葉県千葉市花見川区幕張本郷 1-6-1)

E-mail: xyy7yan@gmail.com

<sup>3</sup> 正会員 茨城大学教授 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: yuji.kuwahara.rs@vc.ibaraki.ac.jp (Corresponding Author)

IPCC 第六次報告により、人間活動の結果排出された温室効果ガスの影響が大气、海洋及び陸域を温暖化させてきた。産業革命以降、大气中の CO<sub>2</sub> 濃度は毎年増加傾向にある。2019 年の CO<sub>2</sub> 年平均濃度は 410ppm 達したことも、気象庁より報告されている。このため、生活環境圏における CO<sub>2</sub> 濃度をめし、茨城大学では 2007 年から現在まで茨城県内の CO<sub>2</sub> 濃度を観測してきた。使用している CO<sub>2</sub> センサの精度及び地理条件が違う所の CO<sub>2</sub> 濃度分布を検証するため、本研究では、CO<sub>2</sub> 濃度と地理条件の関係及びセンサ校正の効率化を検証した結果を報告する。また、今後の観測したデータの精度向上化と地域性向け CO<sub>2</sub> 濃度観測の改良方法を提案した。

**Key Words:** CO<sub>2</sub> concentration, CO<sub>2</sub> sensor, geographic information, improvement

### 1. はじめに

20 世紀後半から地球温暖化が世界各国直面しなければならない問題になっている。地球温暖化に伴い、猛暑や厳寒等々の異常気象が増大している。IPCC 第六次評価報告書により、人間の影響が大气、海洋及び陸域を温暖化させてきたことが報告されている。大气、海洋、雪氷圏及び生物圏において、広範囲かつ急速な変化が現れている。1750 年頃以降に観測されたよく混合された温室効果ガス (GHG) の濃度増加は、人間活動によって引き起こされたものである。2011 年 (IPCC 第五次評価報告書で報告された観測結果) 以降、大气中温室ガス濃度は増加し続け、2019 年の年平均値は、二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) が 410ppm、メタン (CH<sub>4</sub>) が 1866 ppb、一酸化二窒素 (N<sub>2</sub>O) が 332 ppb に達した<sup>1)</sup>。CO<sub>2</sub> 排出制限及び CO<sub>2</sub> 削減効果を考えるポイントの中で、身近な CO<sub>2</sub> 濃度を反映し、比較的排出源に近い生活環境圏における CO<sub>2</sub> 濃度の計測と観測の重要性がある。

そこで茨城大学国土空間情報研究室では生活環境圏における CO<sub>2</sub> 濃度の変化に着目して、茨城県内で 10 年以

上 CO<sub>2</sub> 濃度の観測を行ってきた。観測した CO<sub>2</sub> 濃度の活用については、石井ら (2014) が環境評価指標 (Index) を提案し、CO<sub>2</sub> 濃度と緑被率の関連を検証した<sup>2)</sup>。加瀬ら (2017) は季節による起こした環境評価指標の変化を明らかにした<sup>3)</sup>。

各観測地点の地理条件がそれぞれの地域性が持つ。そこで、人為的な活動による起こした CO<sub>2</sub> 濃度の変化を検証するため、本研究では茨城大学日立キャンパス内で多賀工業会館、駐車場、グラウンド、3 つの地点を選定し、CO<sub>2</sub> 濃度の定点観測を行った。

### 2. 実験装置及び観測地点の概要

本実験では株式会社 U-DOM が開発した設置型 CO<sub>2</sub> 測定器 (C2D-E01) (以下旧型測定器) とラズパイに基づき、sensirion 株式会社開発した SCD30 センサを利用し、自作新型測定器 (以下新型測定器) を使用した。旧測定器と SCD30 センサの仕組みを表-1、表-2 に示す<sup>4)</sup>。室外の環境を対応するため、図-1 に示す電子百葉箱に設置した。キャンパス内の観測地点については図-2 に示す。

### 3. 茨城大学工学部のCO<sub>2</sub>濃度分布及び新型測定器の精度検証

#### (1) 目的

大学のキャンパスは地域におけるエネルギー使用量比較的に大きな施設であり、CO<sub>2</sub>の排出と密接な関連があると考えられる。そこで、本実験では人為活動による起こしたCO<sub>2</sub>濃度値の変化を検証するため、茨城大学日立キャンパスを観測地点として、同キャンパス内の局所的なスケールで環境の違いがある3か所でCO<sub>2</sub>観測実験を行った。

#### (2) 観測地点の概要

交通や土地被覆の条件が大きく異なる3地点を選定した。

①幹線道路の国道6号線及び国土245号線の主要支線(市道266号線)の直近で設置し、交通量や人間活動に起因するCO<sub>2</sub>濃度と密接している多賀工業会館観測地。

②駐車場の入り口と隣接しているN3棟で設置し、施設内の通学、通勤、帰宅による人口移動や車両移動のCO<sub>2</sub>濃度変化に直結した駐車場観測地。

③周辺は比較的に植生被覆の豊かさがあるウンドグラウンドの直近で設置し、植物によるCO<sub>2</sub>濃度変化に影響を受けやすいグラウンド観測地。

#### (3) 各観測地点付近の緑被率推定

CO<sub>2</sub>濃度値は植生の光合成作用による影響を受けるため、各観測地点の緑地状況を把握することが必要と考え、計測地点の直径200m以内の平面的に緑量を代表する緑被率を推定した。本研究は平野ら(2002)が提出した緑被率推定方法を用いて、緑被率の推定を行った。緑被率の推定式を式(1)に示す<sup>9)</sup>。推定した3箇所の緑被率を表3に示す。

$$\alpha = \frac{a \cdot NDVI + b}{c \cdot NDVI + d} \quad \dots \text{式(1)}$$

$$\begin{aligned} \text{ただし、} & a = V_s + NIR_s \\ & b = V_s - NIR_s \\ & c = V_s - V_v + NIR_s - NIR_v \\ & d = V_s - V_v - NIR_s + NIR_v \end{aligned}$$

ここで、Vは可視光赤バンド、NIRは近赤外バンドを表し、添え字v、sはそれぞれ緑被面、非緑被面のピクセルにおける反射率、NDVIは正規化植生指数、 $\alpha$ は緑被率を意味する。

#### (4) 各観測地点のCO<sub>2</sub>濃度変化パターン

##### a) 日別平均データ

表-1 設置型CO<sub>2</sub>測定器(C2D-E01)の仕組み

動作原理	NDIR方式
測定対象	CO <sub>2</sub> , 湿度, 温度
測定範囲(CO <sub>2</sub> )	0~5000ppm
測定精度	CO <sub>2</sub> 濃度: ±30ppm+読み値5%
測定間隔	3秒
電源	AC100V 約10W

表-2 SCD30測定器の仕組み

動作原理	NDIR方式
測定対象	CO <sub>2</sub> , 湿度, 温度
測定範囲(CO <sub>2</sub> )	400~10000ppm
測定精度	±30ppm
測定範囲(湿度)	0~95%RH
測定範囲(温度)	-40~70°C
温度における安定度	2.5ppm/°C
通信	I <sup>2</sup> C, Modbus, PWM
供給電源	DC3.3~5.5V



図-1 電子百葉箱の外観



図-2 電子百葉箱の設置地点

日平均データは一日の濃度値を平均化し、濃度値の多少を代表することで、計測地域の平均的なCO<sub>2</sub>濃度の水準を表すものである。そこで3地点の設置型測定器で計測したデータを日平均値を計算する。計算した3箇所の結果は図-6に示す。結果としては、多賀工業会館観測地点のデータは他の2箇所より明らかに高く、変化程度も3箇所の中に最も大きいと見える。また、駐車場とグラウンドのデータと比較し、駐車場観測地のデータはグラウンドより高い傾向がある、一方でグラウンド観測地点の変化程度は駐車場より激しい、これらの現象になる原因を探るため、時間平均データで一日の変化パターンを分析することが必要と考えられる。

##### b) 時間別平均データ

時間平均データは観測期間内のデータを時間ごとに平均化し、異常天気等の影響を低減させた後の地域的に一日の変化パターンを表すものである。3箇所の観測データにより、同じ時間帯のデータをまとめ、その時間帯のCO<sub>2</sub>濃度値を計算した。計算した3箇所の結果を図-7に示す。3箇所の変化傾向がほぼ一致しているが、変化程度が大きい順に多賀工業会館観測地、グラウンド観測地、駐車場観測地となる。

c) 緑被率との関係

3箇所のCO<sub>2</sub>濃度変動結果と地理条件を比較すると、多賀工業会館とグラウンド観測地のCO<sub>2</sub>濃度データの変化は駐車場のデータより激しい。その原因としては上記の2箇所の近傍は植生が生えている。逆に駐車場の緑被率は他の2箇所と大体同じだが、近傍には植生が生えていないため、変動率が他の2地点より低いと考える。

(5) 新型測定器との比較

a) 多賀工業会館観測地

グラウンド観測地にて計測した両センサの測定値の時間平均データを図-8に示す。7時に旧型測定器がピークに達し、8時にわずかな高低差があったことに対して、新型測定器に搭載したSCD30センサが増加傾向を続け、8時でピーク値に達した。また、グラフの谷部分に注目すると、谷のピークに同じピーク値が遅くなる傾向が表れ、変動レベルもベースデータより小さいと見る。

b) グラウンド観測地

グラウンド観測地にて計測した両センサの測定値の時間平均データを図-9に示す。全体として、両センサのデータは多賀工業会館観測地より平らな変化が表れた。この場合は両センサの変更傾向が明らかに一致している。変動レベルは9時~12時の間にベースデータより大きい傾向が表れた。

c) グラウンド観測地

今回の実験期間では、駐車場に設置した新型測定器が異常の計測データがあった。測定開始した日から、しばらく280ppm~350ppm程度の濃度値を計測していたが、11日で急に0ppmや100ppm以下の計測値があり、極端な低基準値となった。計測データは図-10に示す。そのため、この地点の小型測定器の計測値については検討しないことにした。

4. センサ現地校正の効率向上化

渡辺らのセンサ保存実験では、センサを校正直後の状態のまま袋に封入し、観測地点のメンテナンスを行う時、保存されたセンサと現地のセンサと交換する方法を提案

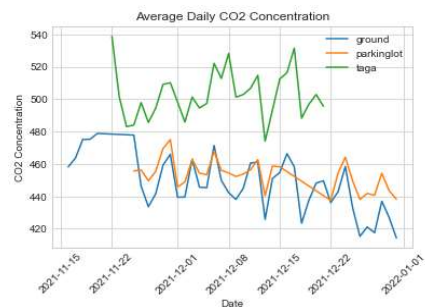


図-6 3箇所の日別平均 (単位 : ppm)

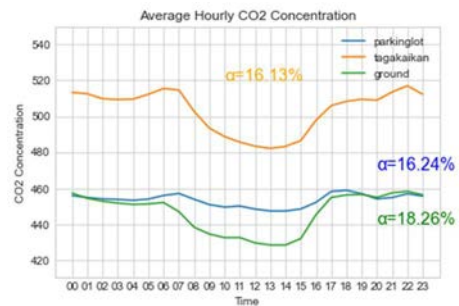


図-7 3箇所の時間別平均と緑被率 (単位 : ppm)

表-3 3箇所の緑被率

観測地点 (2021年11月23日)	緑被率 (平均)
駐車場観測地	16.24%
グラウンド観測	18.26%
多賀工業会館観測	16.13%

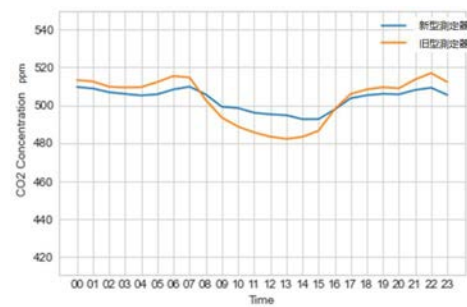


図-8 多賀工業会館の時間平均データ

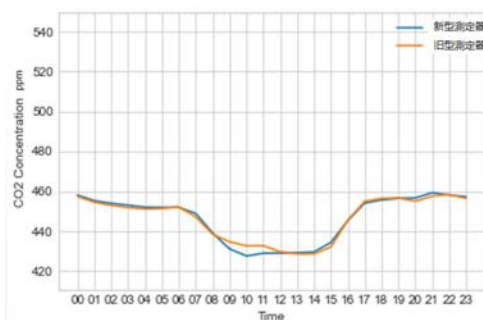


図-9 グラウンドの時間平均データ

した。NDIR方式センサの特徴による保存条件は下記の五つである。また、保存温度は5°Cと20°Cである。

- ①密閉，シリカゲルあり。
- ②密閉，シリカゲルなし。
- ③減圧，シリカゲルあり。
- ④減圧，シリカゲルなし。
- ⑤封なし，シリカゲルなし。

五つの保管条件及び温度制限下の保存効果について、シリカゲルを封入し、低温で保存する方法が適していると言える<sup>7)</sup>。

そこで上記のメンテナンス方法を観測地点大子と観測地点高萩の校正作業に応用した。校正に使用したガスは従来と同じ400ppmのものをを用いた。今回の校正時間は従来と比較し、40分削減された。

## 5. 結論

- a) 観測地点の人為活動による起こしたCO<sub>2</sub>濃度の変化を検証した。また、観測データからCO<sub>2</sub>濃度は緑被率から影響を受けているが、植生からの距離も相当な影響（茨城大学工学部では最大約290m）があると分かった。
- b) 従来の設置型測定器の計測値を旧型測定器のデータとし、SCD30センサの精度を検討した。既存SCD30の測定値の差が大きい場合があり、現時点では気温の効果が疑われる。

## 6. 改良提案

- a) 渡辺らのセンサ保存実験により、保存の効果を判明したが、保存実験の保存時間は四日間である。実際的な校正周期よりかなり短いである。また、保存したセンサの誤差一番低い方法はシリカゲルを封入し、気温5°Cの条件下で保存するものであるが、センサの仕組みにより、センサの動作範囲は0°Cから50°Cである<sup>8)</sup>。長時期低温状態で保存すると、センサに損傷を与える可能性がある。そこで、実際のセンサ校正に応用できるため、また、限界温度付近で保存するのを回避するため、今後の保存実験の保存時間の延長及び保存温度を常温付近にコントロールすることを提案する。
- b) CO<sub>2</sub>濃度と観測地点周辺の人為的な活動を検証したが、今回の3箇所を観測地点は全部茨城大学日立キャンパス内を選定した。生活環境圏を着目するCO<sub>2</sub>濃度観測に対し、今回の観測範囲は近く、観測地点の相互的な干渉が発生している可能性がある。そこで、同一区域内地理条件が違う地点のCO<sub>2</sub>濃度変化パターンを把握するため、今後のCO<sub>2</sub>濃度分布検証の観測地点の選定はもっと各地点の地理条件を代表できる地点を選択することを提案する。一方で観測地点の人為的な行動を把握するため、観測地点付近の排出源調査も今後の課題である。

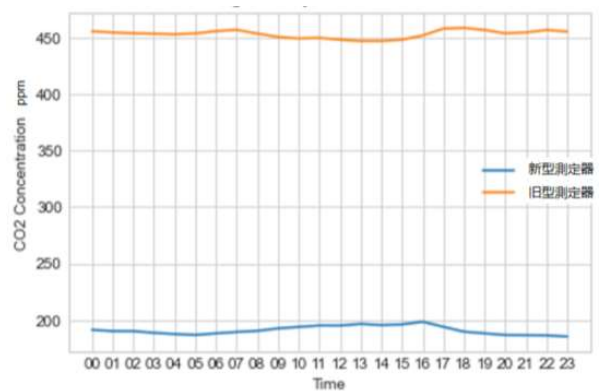


図-10 駐車場の時間平均データ

- c) 12月末にあった寒冷天気（0時以下の場合もあった）でラズパイはCPU等も室外に設置されているため、低温の原因でラズパイ自体のOSが停止していたことがあった。冬の低温環境を対応するため、ラズパイに保温材或は発熱装置を付けることを提案する。

**謝辞：**CO<sub>2</sub>濃度観測に関し、関係施設の方々のご理解とご協力を頂いた。実験装置の作成及び装置のメンテナンスについて、徐宇陽さんの助力を頂いた。ここで記して深甚なる感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 環境省：気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第6次評価報告書第1作業部会報告書（自然科学的根拠）政策決定者向け要約（SPM）の概要、<<http://www.env.go.jp/press/109850/116628.pdf>>，（入手 2022.6.4）
- 2) 石井健大：CO<sub>2</sub>濃度変動に着目した新たな環境評価指標の提案，茨城大学修士学位論文，2016。（未公開）
- 3) 加瀬秀征，飯田大貴，桑原祐史：茨城県の生活環境圏におけるCO<sub>2</sub>濃度変動に着目した環境評価指標の検証，土木学会論文集 F3（土木情報学），Vol.73，No.2，pp.164-172，2017。
- 4) 株式会社ユードム：設置型CO<sub>2</sub>測定器，<<https://www.udom.co.jp/products/CO2/c2d-e01.html>>，（入手 2022.6.5）
- 5) 株式会社sensiron：SCD30，<<https://sensiron.com/products/catalog/SCD30/>>，（入手 2022.6.5）
- 6) 平野勇二郎，安岡善文，柴崎亮介：都市域を対象としたNDVIによる実用的な緑被率推定，日本リモートセンシング学会誌，Vol.22，No.2，pp.163-174，2002。
- 7) 渡辺花蓮：CO<sub>2</sub>センサの計測精度検証とメンテナンス作業の効率化に関する研究，茨城大学卒業論文，2021。（未公開）
- 8) Senseair：Products K30，<<https://senseair.com/products/flexibility-counts/k30/>>，（入手 2022.6.7）