

(25) 文化財庭園を対象とした CO₂ 濃度分布の計測とその傾向

Measurement of CO₂ density and the tendency based on the survey of the cultural heritage garden

桑原祐史¹・石内鉄平²・斉藤修³・瀧ヶ崎薫⁴・寺内美紀子⁵・小柳武和⁶

Kuwahara Yuji, Ishiuchi Teppei, Saito Osamu, Takigasaki Kaoru, Mikiko Terauchi and Koyanagi Takekazu

抄録：著者らは、概ね街路樹の樹冠以下の高さを生活環境圏と捉え、その環境圏における CO₂ 濃度を計測し、地域性や変化量の特徴について研究を進めてきた。結果、被覆の違いによって生活環境圏では CO₂ 濃度が地域性を有することが明らかになってきた。本研究では、対象を緑地空間に広げ、緑量や地形特性が CO₂ 濃度にどのような影響を与えているのかという点を定量化し、濃度分布の傾向を把握することを試みた。風向や同時計測の範囲など、クリアすべき課題は残されるが、緑量が豊富かつ地形的に囲まれた地点、および地形的に開け風の通りやすい地点では濃度値が低くなる傾向が伺えた。一方、奥まった地形の箇所、および公園外の大気の影響を受けていると推察される高所では濃度値が高くなる傾向があることが伺えた。

キーワード：二酸化炭素，文化財，光合成，リアルタイム計測，濃度補正

Keywords：CO₂, cultural heritage, photosynthesis, real-time monitoring, density correction

1. はじめに

地球温暖化の原因である温室効果ガスの一つとして二酸化炭素(以下、CO₂と記述する)が注目されている。全球の平均的な濃度値は約 380(ppm)であることが知られており、経年的・季節的に生じる変化量が増加傾向にあるため、地球温暖化が進行、多くの地域や様々な分野に影響が生じている¹⁾。このような中、著者らの研究グループは、概ね街路樹の樹冠以下の高さを生活環境圏と捉え、その環境圏における CO₂ 濃度を計測、変化量に注目してきた²⁾⁻⁴⁾。

CO₂の排出源は、工業・農業など、産業に由来するもの、そして我々市民の生活活動に由来するものがあるが、拡散現象によっていずれも全球濃度に寄与する。現在までの研究において、生活環境圏の CO₂ 濃度は、1) 土地利用の分布(森林、市街地、工場の効果)、2) 地形の効果、3) 休日など社会活動の効果、等によって変化することを計測してきた²⁾⁻⁴⁾。本論では、従来研究の視点を変え、公園緑地等、市街地内に分布する緑地と、CO₂ 濃度との関係を定量化することを試みた。最近、直達光を遮ることを目的としたグリーンウォール等、身近で簡易な緑化活動が数多く見受けられる。本研究の成果は、都市計画時の緑地配置計画に CO₂ 吸収量の観

点を盛り込んで行くことを最終目的としたものであるが、CO₂ 吸収量を定量化で示す方法を取るため、様々な緑化事業の定量化にも応用利用できるものである。

2. 対象領域と使用データ

(1) 対象領域

日本を代表する回遊式大名庭園である栗林公園(香川県)を対象とした。図-1 に、香川県栗林公園観光事務所作成の「栗林公園案内図」を示す。公園の西側は、北から稲荷山(標高約 166m)～紫雲山～南に室山(標高約 200m)が連なる山地帯になっており、北-東-南の各面が高松市街に面している。なお、瀬戸内海は公園の北方となる。公園は、開園当初より庭園整備が進められたとされる南庭と、元禄期に作庭が進められたとされる北庭に分けることができ、大規模な6つの湖沼に隣接して庭園や各種建築物が造成されている⁵⁾。

(2) 使用データと濃度計測用機器

a) 使用データ

CO₂ 濃度は、NDIR 方式により計測された濃度値(ppm)を用いることにした。計測機器の詳細は b) で記述する。また、栗林公園とその周辺の地形特性は、今後、場の大気の流れを検証して行く際に重要となる。このため、

1：正会員 博士(工学) 茨城大学 准教授 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, Tel :0294-38-5261, E-mail : kuwahara@mx.ibaraki.ac.jp)

2：正会員 博士(工学) 国立明石工業高等専門学校 (〒674-8501 兵庫県明石市魚住町西岡 679-3)

3：正会員 博士(工学) 福山コンサルタント (〒812-0013 福岡県福岡市博多区博多駅東 3-6-18)

4：正会員 博士(工学) 前田建設工業株式会社 (〒101-0064 東京都千代田区猿樂町 2-8-8 猿樂町ビル)

5：正会員 博士(工学) 茨城大学 准教授 工学部 都市システム工学科 (〒316-8511 茨城県日立市中成沢町 4-12-1)

6：正会員 工博 茨城大学 教授 工学部 都市システム工学科 (〒316-8511 茨城県日立市中成沢町 4-12-1)

公園とその近傍の土地利用を確認するためにデジタル型式の地形図(数値地図 25000(地図画像))および基盤地図情報(数値標高モデル 10m メッシュ(標高))を整備した⁶⁾。

b) 濃度計測用機器

本研究では、表-1 に示す性能を有する CO₂ 濃度測定器 (CO₂ デテクタシリーズ: 型式 C2D-W02TR: 無線型 CO₂ 測定器) を用いた。この測定器は、写真-1 に示すように、センサと微弱無線機が収められている箱型の形状をしている。複数のセンサで同時に計測された濃度値は、USB によって PC に接続されたアンテナで受信され、データは ASCII 形式でリアルタイムに更新され蓄積されて行く。このデータを事後に加工・編集し、グラフなどの作成に用いる。

(3) 計測データの補正

計測した CO₂ 濃度のデータを、より正確に比較することを目的として、現地計測実験後にセンサのガス校正を行った。校正には、0ppm および 400ppm の各濃度ガスを使用し、使用した 5 つのセンサがそれぞれの程度のレベルシフトを示していたのかを確認した。計測結果を参照すると、センサの個体毎に、0ppm, 400ppm 双方のシフト量が異なっていた。このシフト量をもとにセンサを校正した。その後、再度、400ppm のガスを用いてセンサ値を確認し、校正後のセンサシフト量を把握した。以上のセンサ校正作業によって取得されたシフト量を用いて、式-(1) に示す線形式で計測値を補正した。3章で掲載した CO₂ 濃度は式-(1) による補正 CO₂ 濃度値であることに留意頂きたい。

表-1 使用したセンサの仕様⁷⁾

1. CO ₂ 測定器 (型式: C2D-W02TR)			
測定項目	CO ₂ 濃度、温度、湿度		
表示項目	測定器本体LCDに、CO ₂ 濃度、温度、湿度、露点温度(測定した温度と湿度からの計算値)を選択操作により切替表示		
測定範囲	CO ₂ 濃度	0 ~ 5000 ppm (5000 ~ 9999 ppm は精度外(拡張測定範囲)になります。)	
	温度	-20 ~ 80 °C	
	湿度	0 ~ 100 %RH	
測定精度	CO ₂ 濃度	±30ppm±読み値の5%	
	温度	±1°C (10~40°Cの範囲内) ±2°C (10~40°Cの範囲外)	LCD表示分解能
	湿度	±4.5%RH (20~80%RHの範囲内) ±7.5%RH (20~80%RHの範囲外)	0.1 ppm 0.1 °C 0.1 %RH
測定間隔	2分(出荷時デフォルト)、1分、30秒、20秒、10秒のいずれかを、ボタン操作により選択。		
パソコン接続機能	USB接続	周波数:303.2MHz アンテナ:基板パターン・アンテナ 通信可能距離:約7m	
ロガー機能	微弱無線	マイクロSDカード(最大2GBまで)に保存。(測定値は、CSV形式 64バイト/測定回で記録) 記録内容は、年・月・日 時・分・秒、CO ₂ 濃度、温度、湿度、露点温度	
電源	パソコン接続時: USB給電、 パソコン非接続時: USBタイプACアダプタ		
測定器本体 寸法/質量	箱形: H60mm×W135mm×D22mm(突起部含まず) / 質量: 約126g		
2. 微弱無線受信機 (型式: C2D-W02RE) オプション			
パソコン通信方式及び電源	USB接続		
アンテナ	1/2λホイップアンテナ		
受信機 寸法/質量	本体 箱形: H40mm×W85mm×D60mm(突起部含まず) アンテナ長:480mm / 質量: 約112g		



写真-1 センサおよび微弱無線アンテナの外観



図-1 栗林公園案内図(引用:香川県栗林公園観光事務所)

$$C_CO_2 = \frac{400}{D_{400} - D_0} (X_i - D_0) + D_{Aft_400} \quad \dots \text{式(1)}$$

但し、 D_{400} : 400ppm からの濃度値シフト量
 D_0 : 0ppm からの濃度値シフト量
 X_i : CO₂ 濃度値(原データ)
 D_{Aft_400} : 校正後のセンサを用いた 400ppm からの濃度値シフト量

3. 公園緑地における CO₂ 濃度計測実験

(1) 計測器設置地点

計測実験は、平成 22 年 9 月 21 日(火)に実施した。計測は、公園を 4 つのエリアに分け、各エリア内の湖沼を囲むように 4～5 つの測定器を設置した。設置終了後、複数のセンサから送信されてくるデータをなるべく欠損なく取得するため、アンテナは各エリアの中で最も高標高の地点(エリア 1 : 香風亭, エリア 2 : 新日暮亭裏手の丘, エリア 3 : 飛来峰, エリア 4 : 芙蓉峰)に設置した。この条件下で、複数のセンサで共通した観測時間を確保するようにした。また、大局的な風向きを把握するために、北門近傍の芝生広場に移動型風向風速計を設置するとともに、センサ設置場所近傍で簡易型風見鳥を用いて風向を計測した。また、公園入客数は現在把握していない。定性的な感覚によるが、午前中の北庭付近の客数はまばらであり、午後 13:00 以降、南庭については回遊客がいた。但し、庭園内の橋や高所に登る階段を待つ等、混雑を感じる程ではなかった。図-2 にセンサ設置位置を示す。

(2) 濃度計測結果

a) エリア 1 : 図-3(1) にエリア 1 の CO₂ 濃度値計測結果を示す。無線機は 3 番の香風亭上に設置した。グラフを見ると、計測値を△で示した 3 番地点の計測値の上下が最も大きく(400-410ppm 程度)、公園外から流入する大気の影響を受けていることが類推される。また、2 番地点は池傍の生垣脇であるが、背後には丘があり、緑地に囲まれた状況にある。このような地点の濃度が比較的低い傾向が伺える(405ppm 程度)。

b) エリア 2 : 図-3(2) にエリア 2 の CO₂ 濃度値計測結果を示す。無線機は 4 番の新日暮亭裏手の丘上に設置した。グラフを見ると、図中×で示した 4 番地点の濃度が最も高く(430ppm 程度)、2 番および 3 番地点といった石壁(赤壁)近くの濃度が低い(400-410ppm 程度)ということが分かる。

c) エリア 3 : 図-3(3) にエリア 3 の CO₂ 濃度値計測結果を示す。無線機は 4 番の飛来峰に設置した。グラフを見ると、4 番地点の濃度はやや高目の 420ppm 程度で安定している。また、水の流れの最下流である 5 番地点で最も濃度値が高くなっている(435ppm 程度)。3 番地点のデータが上下しているのは、遊歩道近傍に設置したことによる人為的影響と推定している。

d) エリア 4 : 図-3(4) にエリア 4 の CO₂ 濃度値計測結果を示す。無線機は 2 番の芙蓉峰に設置した。グラフを見ると、流れの下流側にあたる 5 番地点の濃度値が最も高いことが分かる(437ppm 程度)。ここで、水路が連続しているエリア 2 の 1 番地点と、エリア 4 の 4 番地点の濃度値を比べてみると、双方ともに 420ppm 程度と類似している。このため、大気の流れが水路を通し

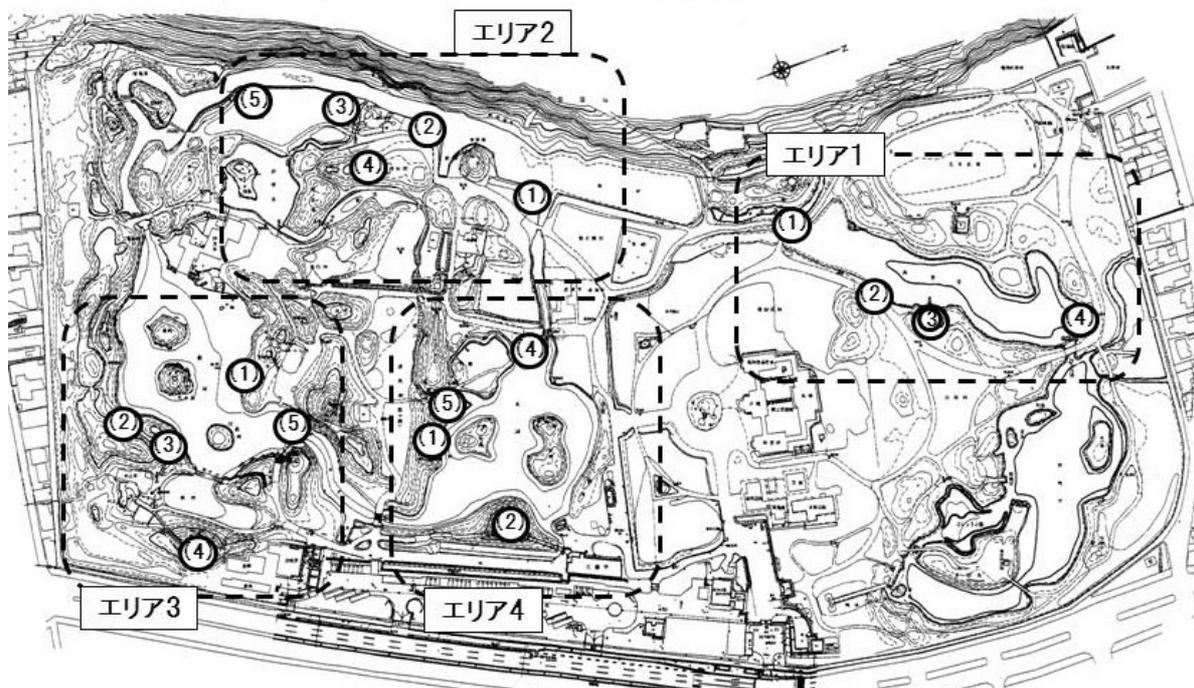


図-2 栗林公園内のセンサ設置位置図(地図作成:香川県栗林公園観光事務所)

てあることが伺える。

4. まとめ

栗林公園内を4つのエリアに分けてCO₂濃度値を計測した。計測は、午前10時50分(エリア1)～午後16時45分(エリア4)の間でエリア毎に行った。また、北口近傍の芝生広場にて計測した風向は、1日を通してほぼ東もしくは南東の風であった。このような環境下で、

①地形的に囲まれた地点で、緑量の多い地点(エリア1(2))や風の通り道(エリア2(2)や2(3))の濃度値が低い傾向が見受けられた。

②地形的に奥まった部分(エリア3(5), エリア4(5))の濃度が高い傾向が伺えた。

これらの点から、本研究を通して庭園の地形および被覆の特性によって局所的なCO₂濃度が左右されている可能性が伺えたと考えている。

今後、①風向風速計を多数設置し、局所風の影響を考慮に入れる、②公園と市街を仕切る生垣高さを把握し、鉛直方向の大気流入を考慮に入れる、といった調査を継続し、公園内の濃度分布を更に深く考察して行きたい。

謝辞: 本研究の一部は、茨城大学 地球変動適応科学研究機関のプロジェクトの一環として実施されたものである。記して深甚なる謝意を表します。また、栗林公園で実施した調査では、栗林公園管理事務所の方々に多大なるご支援を頂戴した。ここに記して深甚なる謝意を表します。

参考文献

- 1) 環境省 地球環境研究総合推進費 戦略的研究開発プロジェクト (S4) 温暖化影響総合予測プロジェクトチーム: 地球温暖化「日本への影響」-最新の科学的知見-, 全p. 94, 2008.
- 2) 齊藤修・堀江和也・石山大祐・安原一哉・桑原祐史: MEMS 加速度センサを用いた IC タグによる地盤振動の解析と可能性, (社)日本測量協会 応用測量論文集、Vol. 19、pp. 81-90、2008.
- 3) 齊藤修・桑原祐史・安原一哉・宮部紀之: 茨城県CO₂グリッド構想に関する検討, (社)土木学会 土木情報利用技術論文集、Vol. 17、pp. 219-224、2008. 11
- 4) 桑原祐史・宮部紀之・齊藤修・小柳武和・安原一哉: 茨城県日立市を対象としたCO₂濃度計測システムの応用利用による季節変動分析, (社)土木学会 土木情報利用技術論文集、Vol. 19、pp. 261-266、2010. 11
- 5) 香川県栗林公園観光事務所: 栗林公園の概要, 平成21年度.
- 6) 国土交通省国土地理院 基盤地図情報ダウンロードサービス, <<http://fgd.gsi.go.jp/download/>>, (2011. 7. 28 参照)
- 7) 株式会社ユー・ドム Web ページ 製品情報「型式C2D-W02TR:無線型CO₂測定器」 <http://udom.co.jp/> (2011. 7. 28 参照)

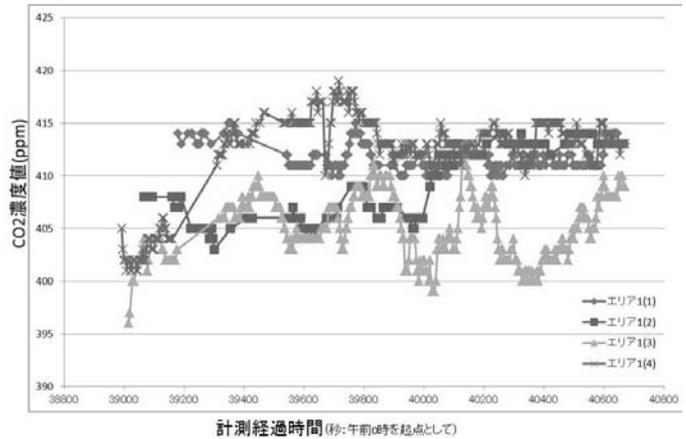


図-3(1) CO₂濃度計測結果(エリア1)

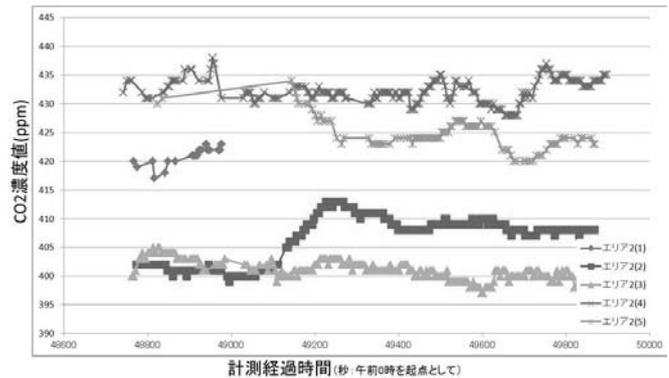


図-3(2) CO₂濃度計測結果(エリア2)

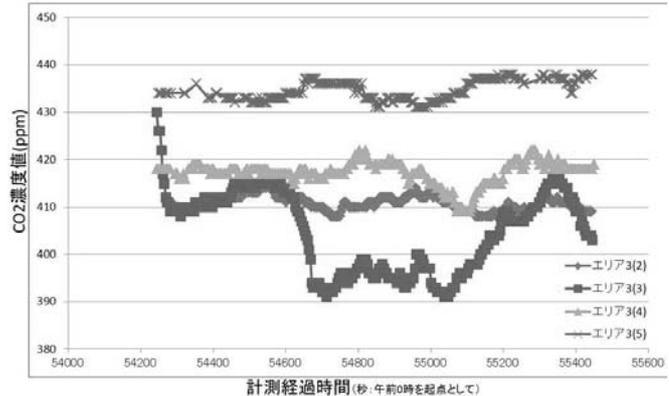


図-3(3) CO₂濃度計測結果(エリア3)

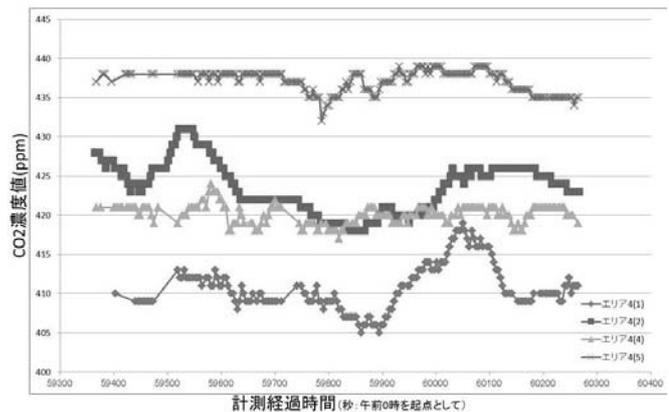


図-3(4) CO₂濃度計測結果(エリア4)