

# 簡易測定器による大気中二酸化炭素濃度測定

飯野 直子<sup>\*1</sup>・大隈 美央<sup>\*2</sup>・金柿 主税<sup>\*3</sup>

## Measurement of atmospheric carbon dioxide with a simple device

Naoko IINO<sup>\*1</sup>, Mio OKUMA<sup>\*2</sup> and Chikara KANAGAKI<sup>\*3</sup>

(Received September 30, 2016)

In order to examine the ability of a simple device to measure the atmospheric carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), we carried out a continuous measurement of CO<sub>2</sub> concentrations in Kumamoto City. The obtained data indicates the diurnal and seasonal variations clearly. Typical diurnal variation is as follows: the highest concentration is recorded at just before the sunrise, and after that the concentrations decrease during the daytime, and then it increase after the sunset. We found that three patterns of the diurnal variation as follows: [1] typical diurnal variation with a sharp concentration peak [2] typical diurnal variation with broad concentration peak, [3] keeping the lower concentrations all-day. Furthermore, it was found that the obtained CO<sub>2</sub> concentrations change is related with daylight and wind. These results suggest that the simple device used here is useful to obtain the CO<sub>2</sub> data as teaching materials at the community area where pupils live.

**Key words :** Kumamoto City, Non dispersive infrared (NDIR) CO<sub>2</sub> sensor, Seasonal variation, Diurnal variation

### 1. はじめに

平成 20 年に告示された学習指導要領の理科では、実感を伴った理解、自然を探究する能力や態度の育成、科学的な知識や概念を活用したり実生活や実社会と関連付けたりしながら科学的な見方や考え方を育成すること、自然に対する総合的なものの見方を育てることなどが重視されている。また、教科における環境教育の充実が図られている。次期改定でも、より一層主体的な問題解決や科学的な検証方法を理解して探究する態度の育成が重視されると考えられる。そのため、今後ますます身近な事象や地域素材を題材とした、活用型・探究型の学習が求められると思われる。

そこで、本研究では、簡易測定器を用いて測定した大気中二酸化炭素濃度の教材化の可能性を検討するために、簡易測定器を用いて熊本市内の大気中二酸化炭素濃度の定点連続測定を行い、得られたデータを解析・検討した。

### 2. 測定機器と測定方法

大気中二酸化炭素濃度 (CO<sub>2</sub>) の定点連続測定は、(株) ティアンドデイ社製の TR-76Ui を用いて行った。二酸化炭素センサは非分散型赤外線吸収法 (NDIR) 方式である。オートキャリブレーション機能をはたらかせることによってバックグラウンド較正 (390 ppm) が行われる。製品仕様として、オートキャリブレーション機能をはたらかせた場合の精度は ± 50 ppm + 読み値の ± 5 % である。この簡易測定器を熊本市中央区の熊本大学構内の百葉箱 (地点 KU) と熊本市東区内の住宅団地建物 5 階の屋外 (地点 HG) に設置し、10 分毎に測定値を記録した。地点 HG の測定用には直射日光と降水対策用にハウジング (パゴダ) を自作して用いた。地点 KU、地点 HG とともに 2012 年 9 月から連続測定を開始した。

\*1 熊本大学教育学部理科教育

\*2 熊本大学教育学部 (現 飯塚東小学校)

\*3 熊本支援学校

### 3. 定点連続観測の結果と考察

#### 3. 1 季節変化

地点 HG で 2013 年 1 月～2016 年 8 月に測定された CO<sub>2</sub> 濃度の月平均値の経年変化を図 1 に示す (2016 年 4 月は熊本地震で測定日数不足のため欠測)。参考として、気象庁 [1] によって綾里で測定された観測結果もあわせて示す。気象庁による結果は、2013 年 1 月から 2014 年 12 月までが確定値、2015 年 1 月から 2016 年 4 月までは速報値である。

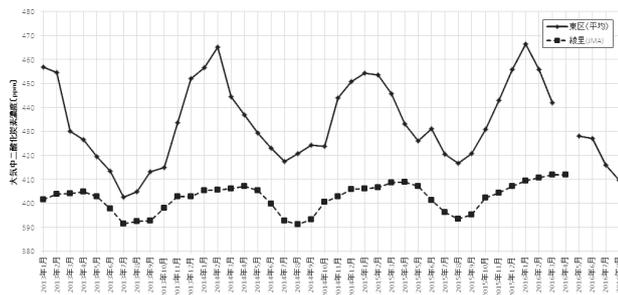


図 1 大気中二酸化炭素濃度の経年変化

世界各地で観測されたデータをもとに気象庁 [1] が推定した北緯 32.5 度、東経 130 度における地表面付近の大気中二酸化炭素濃度の経年変化のグラフによると、2014 年最大と最小の値はおおよそ 410 ppm と 397 ppm である。一方、地点 HG における 2014 年の月平均値は、最大が 2 月の 465.1 ppm、最小が 7 月の 417.5 ppm である。簡易測定器による測定値は過大であると思われる。

しかし、図 1 より、簡易測定器による測定でも CO<sub>2</sub> 濃度の季節変化を捉えられたことがわかる。詳しくみると、地点 HG の CO<sub>2</sub> 濃度の季節変化は、気象庁による綾里など清浄地域 (バックグラウンド地域) における観測結果とは季節変化の特徴が異なっている。清浄地域では光合成の盛んな夏季に CO<sub>2</sub> 濃度が低く、その後秋から春にかけて穏やかな上昇傾向がみられて、春が最大となっている。一方、熊本市内の地点 HG の観測結果では、夏季に CO<sub>2</sub> 濃度が低くなったあと、冬季に最大 (ピーク) がみられ、その後減少している。都市域における CO<sub>2</sub> 濃度変化で冬季が最大になることは、光合成活動の低下だけでなく、化石燃料消費の増加といった人為的要因も関係していると考えられる。なお、CO<sub>2</sub> 濃度のピークが冬季にみられるという特徴は、名古屋市 [2] や神奈川県内 [3] などの都市域での測定結果にみられる特徴と同様である。

#### 3. 2 日変化

CO<sub>2</sub> 濃度の経時変化を概観するために、地点 KU の

2014 年 11 月から 2015 年 10 月まで、月別時系列グラフを作成した。一例として、2015 年 7 月の経時変化を図 2 に示す。

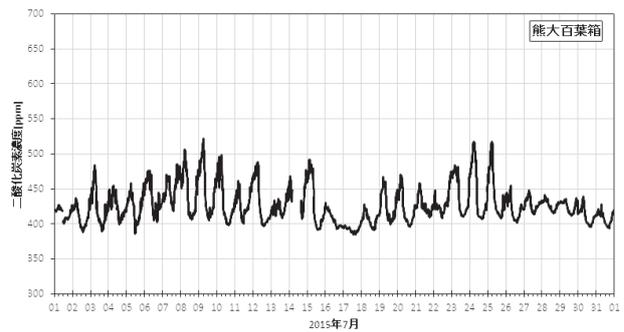


図 2 2015 年 7 月の大気中二酸化炭素濃度

図 2 より、大気中 CO<sub>2</sub> 濃度は規則的に日変化していることがわかる。日変化の基本パターンは、朝に高濃度のピークを迎え、日中に低下し、夕方から夜間にかけて濃度が上昇するものであると考えられる。1 年分の時系列グラフを検討した結果、日変化には典型的な 3 つのパターンがみられた。これらを [タイプ 1]、[タイプ 2]、[タイプ 3] とする (図 3)。図 3a に示す [タイプ 1] の日変化は基本パターンである。夕方から朝のピークまでの大気中 CO<sub>2</sub> 濃度の上昇が著しく、高濃度を維持する時間が短く、最大値を記録後は短時間で濃度が低下している。そのため、グラフではピークが鋭い山型となり、ピークが明瞭である。この日変化は、植物の光合成・呼吸活動によると考えられる。[タイプ 2] の日変化も [タイプ 1] と同様に基本パターンを示している。[タイプ 1] と異なるのは、夜間から朝のピークまでの間、高濃度を継続している点である。夜間に高濃度レベルを維持しながら一旦濃度が低下し、朝方に濃度が再上昇して結果、夜間と朝の両方にピークがみられ、グラフが M 字の二山型 (図 3b 中の M) になる場合もこのタイプに含む。このタイプは、[タイプ 1] の要因に加えて人間活動や大気安定度が関係していると推察される。[タイプ 3] の日変化は基本パターンとは異なる。このタイプでは基本パターンにみられる夕方以降の濃度上昇がみられずに、低濃度を維持している。多少変動しているが、変動幅が小さく、ピークが不明瞭であることが特徴である。風によって拡散されて高濃度になりにくいパター

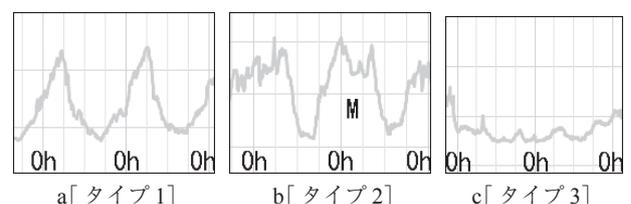


図 3 日変化パターン

ンと考えられる。

大気中 CO<sub>2</sub> 濃度の日変化パターンの季節特性をみるために、月別に [タイプ1] ~ [タイプ3] のみられた日数をそれぞれ集計した。集計結果を表1に示す。不明瞭は3つのタイプのいずれにも当てはまらなないと判断した事例である。その月に最も多くみられたタイプのセルに灰色で網掛けした。なお、2015年7月と8月にはそれぞれ1日分と4日分欠測がある。

表1 日変化パターンの集計結果 (地点KU)

タイプ	14/11	14/12	15/01	15/02	15/03	15/04	15/05	15/06	15/07	15/08	15/09	15/10
<b>[1]</b>	1	3	4	0	3	5	13	4	7	15	9	10
<b>[2]</b>	17	10	12	8	10	8	5	5	3	5	6	9
<b>[3]</b>	2	4	1	5	3	4	2	3	2	2	1	0
不明瞭	10	14	14	15	15	13	11	18	18	5	14	12

大気中 CO<sub>2</sub> 濃度の日変化の基本パターンである [タイプ1] と [タイプ2] は、それぞれ5月、7~10月と11月~4月、6月に多くみられた (表1)。なかでも日数の差が顕著だったのは、[タイプ1] が5月と7~8月の暖候期、[タイプ2] が11~3月の寒候期であった。一方、[タイプ1] と [タイプ2] の日数の差が3以下だったのは、4月、6月、9月、10月であった。[タイプ1] が夏に、[タイプ2] が冬に多くみられる日変化のパターンであるとする、4月、9月、10月は季節の変わり目であり、[タイプ1] ↔ [タイプ2] の移行期であったと考えられる。低濃度維持の [タイプ3] はどの月においても日数が少なかった (0~18%)。大気中 CO<sub>2</sub> 濃度が低濃度で推移する要因として風の影響が考えられる [3]。[タイプ3] の29事例日の地上風を検討した結果を3.3 (3) で述べる。

本研究では、教材化のための基礎研究であるため、タイプ分けを行う際には典型パターンとの整合性が高いもののみをカウントすることとした。そのため、表1に示すように不明瞭の日数が多くなった。そこで、不明瞭と分類した日についてもさらに検討したところ、以下の3つのタイプがあることがわかった。一つ目は [タイプ1] と [タイプ2] の中間型である。このタイプは、ピーク時間が [タイプ1] よりも長いが [タイプ2] よりも短く、季節の変わり目である4月や9月、10月に多くみられた。二つ目は [タイプ1] もしくは [タイプ2] と [タイプ3] の混合型で、一日の途中で風速が変化した結果と考えられた。最後の三つ目は挙動の説明が難しい複雑な日変化をしている不明タイプであった。例としては、日中に濃度が上昇しているものや、一日を通して高濃度を継続しているものがあげられる。このタイプはどの月にも見られたが、特に1月と2月に多くみられた。

### 3.3 天文・気象との関係

#### (1) 日の出

日変化の時間特性を捉えるために、大気中 CO<sub>2</sub> 濃度のピーク時刻を調べた。1時間ごと (ここでは、例えば、3:00~3:50を3時台というように定義した) の事例数を集計し、月別にまとめた結果を表2に示す。月別に事例数が最も多いセルを灰色で網掛けした。表2より、5月と6月は5時台、11月~2月は8時台にピークを迎えることが多いことがわかる。日の出との関係を調べるために、阿蘇火山博物館に設置しているネットワークカメラで2010年に撮影した画像のなかから各月の20日前後で天気の良い日を選んで30分毎に並べた図から3~10時の時間帯を切出して右に90度回転させた図4を作成した。表2の網掛けセルの推移と図4にみられる画面が明るくなる時刻の推移の挙動はおおよそ一致している。このことから大気中 CO<sub>2</sub> 濃度の朝におけるピーク時刻は、日の出時刻に関係していることがわかる。これらの表や図は教材として利用可能であると思われる。

表2 月別のCO<sub>2</sub>濃度ピーク時刻 (地点KU)

	14/11	14/12	15/01	15/02	15/03	15/04	15/05	15/06	15/07	15/08	15/09	15/10
3:00			1		1	1	1	3				1
4:00	1		3		1	3	2	2	2			1
5:00	2			1	5	4	14	12	7	5	7	4
6:00	3	1		1	5	6	9	5	8	15	11	10
7:00	7	4	3		8	5	3	3	4	4	8	6
8:00	13	14	9	5	5	2	1	2	2	3	1	4
9:00		6	8	4	1	1						1
10:00			1	3	1							1

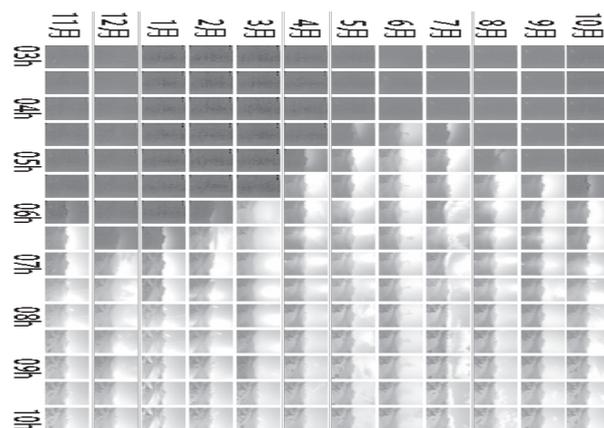


図4 季節による日の出時刻の違い

#### (2) 日射

教材として日射と大気中 CO<sub>2</sub> 濃度との関係がわかりやすい事例として、ほぼ快晴であった2015年10月16日から17日の地点KUにおける大気中 CO<sub>2</sub> 濃度および熊本地方気象台における気温と全天日射量の時間変化を図5に示す。大気中 CO<sub>2</sub> 濃度は気温と負

の相関があることや日の出直前に最高濃度となっていることがわかる。

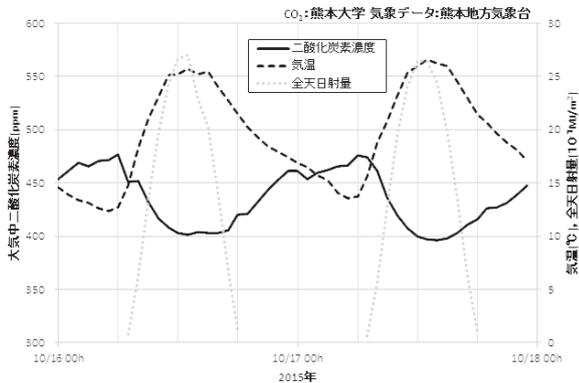


図5 大気中CO<sub>2</sub>濃度と日射との関係(快晴日)

(3) 風

図2に示した2015年7月の大気中CO<sub>2</sub>二酸化炭素濃度の16日から17日に[タイプ3]の日変化が見られる。この日の夜間には台風1516号が九州の東を北上中で、熊本地方気象台の地上風の風速は概ね6 m/sを超えていた。1995年から2004年に測定されたCO<sub>2</sub>濃度と風向・風速の関係について検討した先行研究[3]でも、風が強くなるとCO<sub>2</sub>濃度が低くなる傾向にあることが指摘されている。

本研究において大気中CO<sub>2</sub>濃度が夜間でも低いままで推移した[タイプ3]の29事例日について熊本地方気象台における午前3時の地上風を調べた。結果を表3に示す。また、風向別のビューフォート風力階級別頻度分布を図6に示す。あわせて地上天気図も確認した。夜間に低濃度が維持された日のおよそ6割では3m/s以上の地上風が吹いており、寒候期では冬型

表3 [タイプ3]の日の熊本地方気象台の風向風速

	風向 [16方位]	風速 m/s		風向 [16方位]	風速 m/s
2014/11/13	WNW	3.7	2015/04/05	S	3.0
2014/11/26	NNW	2.3	2015/04/07	NNW	4.2
2014/12/02	WNW	3.2	2015/04/13	NE	3.5
2014/12/04	WNW	1.0	2015/04/14	SW	0.8
2014/12/05	WNW	3.4	2015/05/04	WSW	4.0
2014/12/17	NW	4.2	2015/05/12	S	3.3
2015/01/01	WNW	4.0	2015/06/09	SSW	1.9
2015/02/05	WNW	2.5	2015/06/26	SE	1.0
2015/02/17	NW	4.9	2015/06/27	SSW	2.2
2015/02/18	WNW	2.4	2015/07/16	NNW	4.2
2015/02/23	NNW	1.5	2015/07/17	NNW	6.1
2015/02/28	NNE	3.6	2015/08/13	WSW	2.9
2015/03/01	NNW	3.3	2015/08/25	NNE	5.4
2015/03/10	NW	2.0	2015/09/09	NNW	2.8
2015/03/11	WNW	3.6	熊本地方気象台	午前3時の地上風	

の気圧配置で北西よりの風が多かった。それ以外の季節では前線や台風による影響が大きいと考えられた。

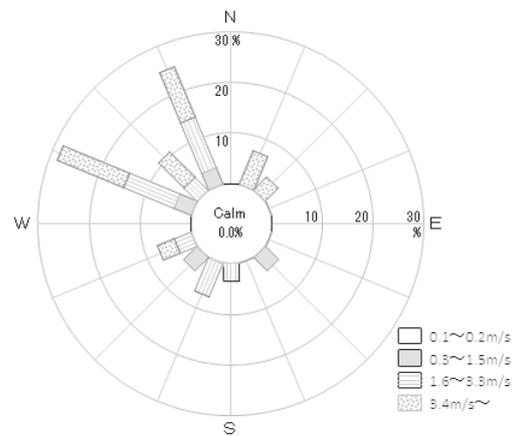


図6 [タイプ3]の日の風向別風力階級別頻度分布

4. おわりに

大気中二酸化炭素濃度の教材化のための基礎研究として、簡易測定器を用いて熊本市内で定点連続測定を行った。簡易測定器を用いて得られた濃度は過大であるとみられるが、気象庁や自治体による測定と同様に、日変化や季節変化をとらえることが可能であることがわかった。本研究で得られた地点KUの大気中二酸化炭素濃度の月別の時系列グラフを以下のサイト(図7)に掲載している。

熊本における大気中二酸化炭素濃度

[http://es.educ.kumamoto-u.ac.jp/kumamoto/kumamoto\\_co2/](http://es.educ.kumamoto-u.ac.jp/kumamoto/kumamoto_co2/)



図7 熊本における大気中二酸化炭素濃度のページ

なお、測定器の電源は単三電池4本あるいはAC電源が使用できる。乾電池のみで使用する場合は2日程度で電池交換が必要となるため、百葉箱で測定を行う場合は大容量バッテリー等の電源確保が課題となる。本

研究で使用した（株）システムトークスのスゴイバッテリ（SGB-MDC300LP2）を用いた場合、2～3週間の連続測定が可能であった。

### 謝 辞

阿蘇火山映像観測は、熊本大学・阿蘇火山博物館・包括的連携協定事業の一環として行っています。阿蘇火山博物館のご協力に感謝いたします。本研究はJSPS 科研費 2450106 および 15K00924 の助成を受けたものです。

### 参考文献・URL

- [1] 気象庁 温室効果ガス：[http://ds.data.jma.go.jp/ghg/info\\_ghg.html](http://ds.data.jma.go.jp/ghg/info_ghg.html)
- [2] 中島寛則, 名古屋市における二酸化炭素濃度に関する一考察, 名古屋市環境科学研究所報 38, 17-21, 2008.
- [3] 塩沢俊克・大塚定男・相原敬次, 神奈川県内の大気中二酸化炭素濃度の現状, 神奈川県環境科学センター研究報告 28, 73-77, 2005.

URL は 2016/9/30 に確認。