

# 長野県における大気中二酸化炭素濃度の日内変動

## — 2011-2019 年度の松本市における移動測定車による測定結果 —

原田 勉<sup>1,2</sup>

地球温暖化をもたらす温室効果ガスである二酸化炭素（CO<sub>2</sub>）の大気中の濃度は増加しており、CO<sub>2</sub>の排出量の削減対策は喫緊の課題となっている。国内の大気中のCO<sub>2</sub>濃度は気象庁をはじめ数機関で測定されている。当県は2011年度から2019年度まで、大気環境測定車（通称、あおぞらIV号）にCO<sub>2</sub>測定器を搭載し、県内各地で測定した。本報では測定した地点の中で最も測定回数が多く、県のほぼ中央に位置する松本市の測定値を用いて、CO<sub>2</sub>濃度の日内変動とその要因を解析した。

その結果、地表付近の風速が小さい条件で明確な日内変動がみられ、早朝の6時から7時が最大で、15時から16時が最小だった。この日内変動は気象庁の観測地点より非常に大きく、内陸盆地における接地逆転層の影響と考えられた。そのため、早朝の濃度は、その地域周辺における夜間のCO<sub>2</sub>発生量を反映していることが示唆された。また、大気が不安定になりやすい昼間は上空大気との混合による希釈と植物の光合成による吸収により濃度が減少すると考えられた。

**キーワード：**二酸化炭素，温暖化，移動測定車，日内変動，大気，長野県

### 1 はじめに

大気中のCO<sub>2</sub>は土壤微生物<sup>1)</sup>や動植物の呼吸、化石燃料を含めた有機物の燃焼及び火山<sup>2)</sup>等から発生し、植物の光合成等によって吸収されている。また、大気と海洋の間では常に吸収と放出が行われている<sup>3)</sup>。温室効果ガス世界資料センター（WDCGG）によると、産業革命が始まった1750年以降、化石燃料の使用量の増加に伴って大気中のCO<sub>2</sub>濃度は増加しており、2019年の世界の平均濃度は前年より2.6ppm増えて410.5ppmで、1750年以前の平均的な値とされる278ppmから48%増加したとしている<sup>4)</sup>。

このような状況から、地球温暖化をもたらす温室効果ガスであるCO<sub>2</sub>の排出量の削減対策は世界の喫緊の課題であり、国内でも急がれている。

長野県は2019年12月に「気候非常事態」を宣言し<sup>5)</sup>、この中で、省エネと再生可能エネルギーへの移行を進め、2050年にCO<sub>2</sub>排出量を実質ゼロにする目標の実現を目指している。

国内の大気中のCO<sub>2</sub>濃度は数機関で測定されている。主な測定は、気象庁が綾里、南鳥島及び与那国島の3地点、国立環境研究所地球環境研究センターが波照間及び落石岬の2地点で、何れも

CO<sub>2</sub>濃度のバックグラウンドを調査する目的で都市部の影響が少ない地点で測定している。また、埼玉県環境科学国際センターは都市部の影響が想定される埼玉県内の3地点で測定しており、これらの3機関はCO<sub>2</sub>濃度をホームページで公開している<sup>6) 7) 8)</sup>。気象庁の3地点における2019年の平均CO<sub>2</sub>濃度は約412.2~414.8ppm<sup>9)</sup>の範囲で、WDCGGが示した2019年の世界平均濃度(410.5ppm)より若干高い。

長野県は森林の面積が全国で北海道、岩手県に次いで3番目に多く<sup>10)</sup>、CO<sub>2</sub>の吸収量が多いことが予想され、また、高山で囲まれた盆地は大気が滞留しやすいためバックグラウンドの測定には適さないと思われる。しかし、盆地内におけるCO<sub>2</sub>濃度の変動を知ることはその地域内でのCO<sub>2</sub>の発生、吸収過程を解明する上で重要と考えられる。

県は大気常時監視における固定局を補完するため、県内各地を移動する大気環境測定車にCO<sub>2</sub>測定器を搭載して2011年度から2019年度に測定を行った<sup>11)</sup>。大気環境測定車は年度ごとに市町村等からの依頼により1ヵ月単位(1地点)で運用されるため、測定した全29地点の内、複数回測定した地点は少なく、20地点は測定回数が1回だった。

1 長野県環境保全研究所 大気環境部 〒380-0944 長野市安茂里米村1978

2 現：退職

そのため、今回は最も測定回数が多い松本市内の3地点についてCO<sub>2</sub>濃度の日内変動を解析し、地表付近のCO<sub>2</sub>濃度の変動要因を考察した。

## 2 調査方法

### 2.1 解析地点

解析地点は松本市野尻北（以下、野尻北）、松本市山の神（以下、山の神）及び松本市棚峯公園（以下、棚峯公園）の3地点で、詳細は表1に示した。

表1 解析地点

地点	住所	緯度(° N)	経度(° E)	標高(m)
野尻北	松本市神林4822-1	36.177046	137.90421	653
山の神	松本市今井3613-1	36.164302	137.90748	670
棚峯公園	松本市中山台5191-155	36.180032	137.99651	711

### 2.2 大気の採取方法と測定機器

CO<sub>2</sub>濃度は地上約4.3m(大気環境測定車屋上1.5m)から大気を採取し、非分散型赤外線ガス分析計ZRJ-5(富士電気計測機器(株)、濃度校正用標準ガス:CO<sub>2</sub>約500ppm)で測定した。

風向、風速及び日射量は大気環境測定車の既搭載器(超音波式風向風速計:(株)プリードPGW S-100、日射量計:横河電子機器(株)H2122)で測定した。

### 2.3 解析データ

解析は表2に示した期間の測定値を使用した。

なお、CO<sub>2</sub>濃度は毎正時前の1時間平均値(以後、1時間値と略す)、風向及び風速は毎正時前の10分間平均値、日射量は毎正時前の1時間積算値を用いた。

## 3 結果

### 3.1 CO<sub>2</sub>濃度の変動パターン

3地点の全測定期間におけるCO<sub>2</sub>濃度の1時間値の変動は地点及び日時で異なるが、日周期の変動が3地点の全ての測定期間でみられた。日周期の変動は日ごとの最高値の変動が大きく、最小値の変動は小さい傾向があった。なお、3地点における全測定期間の濃度範囲は366~506ppm(差140ppm)だった。また、変動は冬より夏が大きい傾向がみられたが、夏冬に関係なく昼夜で約100ppm変動したケースがあった。

表2 各地点の測定期間

地点	測定期間	日数
野尻北	2012/6/7 ~ 2012/7/11	33
	2014/1/21 ~ 2014/2/28	38
	2014/11/5 ~ 2014/12/5	30
	2015/12/4 ~ 2016/1/5	32
	2016/9/27 ~ 2016/10/27	30
	2017/5/26 ~ 2017/6/27	32
	2018/8/10 ~ 2018/9/10	31
2019/12/17 ~ 2020/1/16	30	
山の神	2011/11/16 ~ 2011/12/15	29
	2012/10/5 ~ 2012/11/5	31
	2013/10/1 ~ 2013/10/31	30
	2014/10/3 ~ 2014/11/4	32
	2016/1/6 ~ 2016/2/5	30
	2016/11/18 ~ 2016/12/19	31
	2017/12/14 ~ 2018/1/11	28
2018/9/11 ~ 2018/10/11	30	
2019/10/30 ~ 2019/11/28	29	
棚峯公園	2013/2/8 ~ 2013/3/11	31
	2013/8/30 ~ 2013/9/30	31
	2014/4/15 ~ 2014/5/15	30
	2015/11/10 ~ 2015/12/3	23
	2016/7/26 ~ 2016/8/24	29
	2017/6/28 ~ 2017/7/27	29
	2018/6/27 ~ 2018/7/26	29
2020/1/17 ~ 2020/2/18	32	

各地点の全測定期間について、1時間値の6時間移動平均値を求めてそれぞれの測定期間における変動の様子を比較した。その結果、変動の様子は概ね、次の(a)から(c)の3つに分類することができた。

- (a): 測定期間を通じて日周期の変動が大きい。
- (b): 測定期間を通じて日周期の変動が小さい。
- (c): 測定期間の途中で日周期の変動が大きく変化する。

各分類の代表的な測定例を図1に示したが、これらの変動は地点に関係なく、3地点でみられた。

### 3.2 CO<sub>2</sub>濃度の日内変動

CO<sub>2</sub>濃度の日内変動は、町田<sup>12)</sup>が埼玉県、塩沢<sup>13)</sup>が神奈川県及び井上<sup>14)</sup>が愛知県で調査しており、何れも昼間が低く、夜間が高い日内変動があることを報告している。また、泉川<sup>15)</sup>は東京都庁の地上約230mでは夜間が低く、昼間が高いことを報告している。

松本市内の3地点における全測定期間の1時間値から時刻別に平均CO<sub>2</sub>濃度を求め図2に示した。

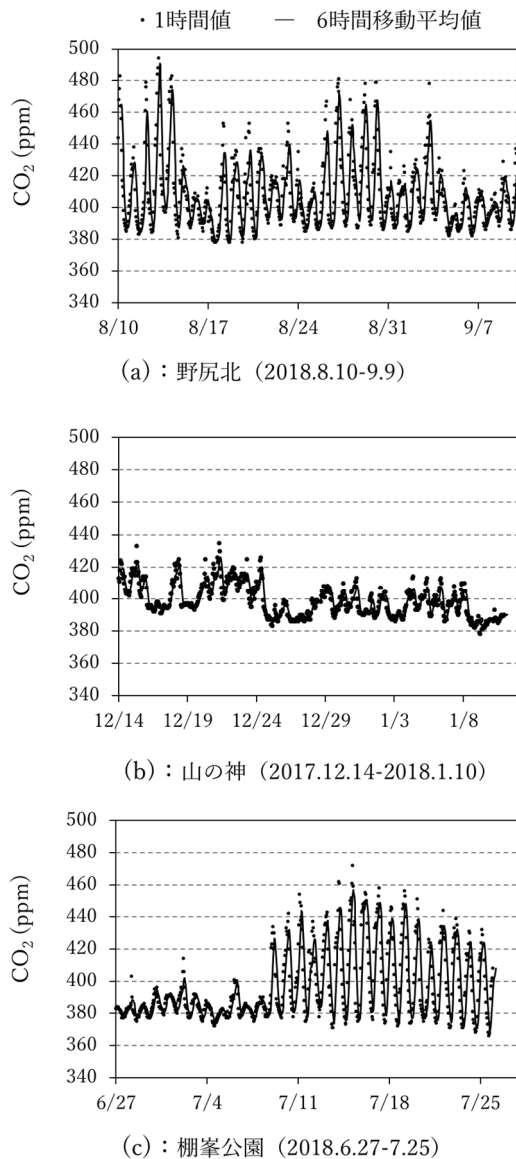


図1 CO<sub>2</sub>濃度変動の代表的な3パターン

3地点のCO<sub>2</sub>濃度の変動は一樣に昼間が低く、夜間が高い日内変動を示し、最高濃度は6時から7時の早朝で、最低濃度は15時から16時だった。なお、地点ごとに測定期間が異なることから地点間の濃度の比較はできなかった。

3地点は何れも松本市内であり、また、日内変動がほぼ同じだったことから、以後の結果は夏と冬のデータが揃っており、また、閑静な住宅地で自動車の排気ガスの影響が小さいと考えられる棚峯公園について行った解析結果を述べる。

棚峯公園の2016年7月26日から同年8月24日の1時間値について、同期間における気象庁の3地点の1時間値と比較した(図3)。この期間の

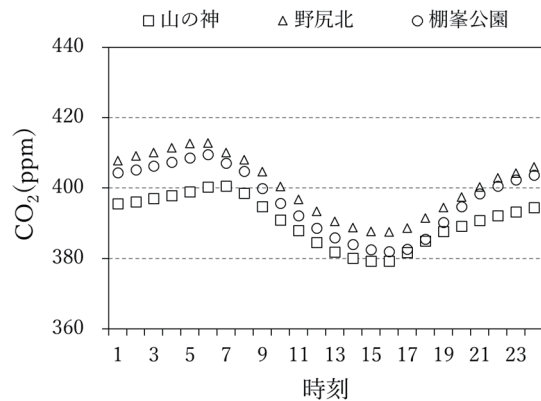


図2 松本市内3地点の時刻別平均CO<sub>2</sub>濃度(2011-2019年度の平均値)

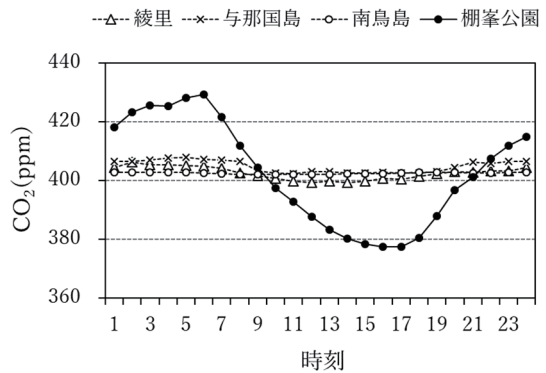


図3 棚峯公園と気象庁3地点の時刻別平均CO<sub>2</sub>濃度(2016.7.26-8.24 ※綾里, 与那国島, 南鳥島: 気象庁観測値<sup>16)</sup>)

時刻別の平均CO<sub>2</sub>濃度の日内差は気象庁の3地点が南鳥島の0.9ppmから綾里の7.2ppmの範囲であるのに対して、棚峯公園は51.7ppmで大きな日内変動だった。

### 3.3 気象の影響

#### 3.3.1 日射量・風速・気温減率

大気中のCO<sub>2</sub>は植物の光合成で吸収されることから日射量に着目し、棚峯公園における8回の測定期間の内、日射量が最も多いことが想定される7月から8月に測定した約1ヵ月間のCO<sub>2</sub>濃度(1時間値)と日射量(1時間積算値)の相関を図4(a)に示した。日射量の最大値は3.6MJ/m<sup>2</sup>で、その時のCO<sub>2</sub>濃度は383及び393ppmだった。日射量の増加に伴い濃度範囲が縮小して減少傾向はみられるが、最小濃度は日射量が1.2MJ/m<sup>2</sup>のときの363ppmで、それ以上日射量が増加しても下がらなかった。なお、日射がない夜間の濃度範

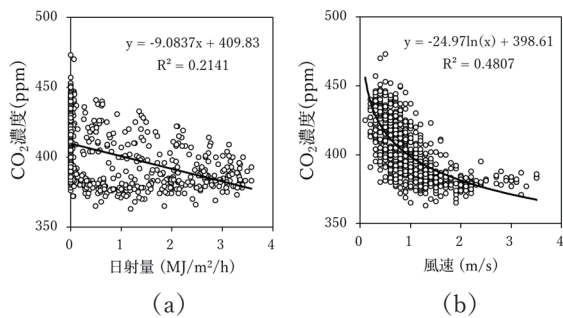


図4 日射量及び風速とCO<sub>2</sub>濃度の相関  
(棚峯公園, 2016.7.26-8.24)

囲が最も広く 376~470ppm だった。

また、同期間における風速との相関を図4(b)に示した。CO<sub>2</sub>濃度は風速の増大に伴い大きく低下しており、測定地点周辺の地表付近で発生したCO<sub>2</sub>が、風の影響により濃度の低い大気と混合し、希釈された可能性があると考えられた。このことから地表付近のCO<sub>2</sub>濃度は日射量その他、風の影響が大きいことが示唆された。

図5に図4と同期間における時刻ごとの平均CO<sub>2</sub>濃度と大気の鉛直混合の指標として気温減率を示した。なお、気温減率は松本市における測定値がないため、松本市と同様に盆地であり、また、同期間における日出及び日没時刻の差が2分未満であることから<sup>17)</sup>、時刻による両地点の気温減率の変動はほぼ同じと考えて、長野市で測定した値(長野県環境保全研究所安茂里庁舎と大峰山<標高差465m>の気温差から求めた値)を用いた。CO<sub>2</sub>濃度は気温減率の日内変動とほぼ一致し、気温減率が小さい(大気の鉛直混合が少ない)19時頃から早朝6時にかけて上昇し、それ以降は気温減率の増大に伴って減少して16時が最小だった。なお、気温減率が最大だった14時とCO<sub>2</sub>濃度が最小だった時刻に2時間の差があるが、14時以降も植物の光合成が行われていることが一つの要因として考えられた。

鉛直混合を考える上で、上空のCO<sub>2</sub>濃度を知る必要があるが、相原ら<sup>18)</sup>及び町田ら<sup>19)</sup>の報告並びに気象庁の観測<sup>20)</sup>等では対流圏では地上から離れるほど濃度が低いことが示されている。そのため、鉛直混合が大きい昼間は気温減率の増大に伴い上空の大気との混合による希釈が考えられた。

一方夜間は、夜間に発生したCO<sub>2</sub>が大気の安定した地表付近に蓄積して6時に最大に

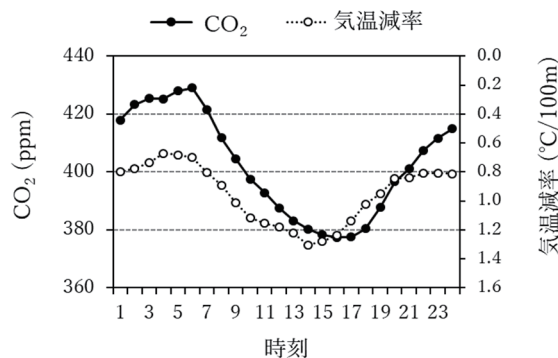


図5 気温減率とCO<sub>2</sub>濃度の日内変動  
(2016.7.26-8.24, CO<sub>2</sub>濃度:棚峯公園, 気温減率:長野市の長野県環境保全研究所安茂里庁舎と大峰山から算出)

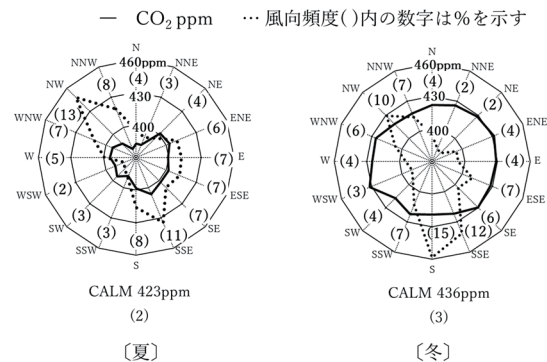


図6 風向頻度及び風向別の平均CO<sub>2</sub>濃度  
(棚峯公園, 夏:2016.7.26-8.24, 冬:2020.1.17-2.15)

なったと考えられた。

### 3.3.2 風向

棚峯公園における測定期間の内、夏と冬に該当する7月から8月及び1月から2月に測定した約1ヵ月間について、風向頻度及び風向別(16方位)の平均CO<sub>2</sub>濃度を図6に示した。

夏の風向頻度は北西が最も高く13%で、次いで南南東11%だった。風向別の平均CO<sub>2</sub>濃度はCALM(風速0.2m/s以下)が最も高く423ppm、次いで南南東が413ppmで、北北西が最も低い388ppmとなっており、風向による濃度差があった。

冬の風向頻度は南が最も高く15%で、次いで北西が10%だった。風向別の平均CO<sub>2</sub>濃度は夏と同様にCALMが最も高く436ppm、次いで西南西及び東北東が435ppmで、南西が最も低い422ppmとなっており、風向による濃度差が小さかった。

### 3.3.3 気象影響の検証

気象とCO<sub>2</sub>濃度の関係を検証するため、図7に図1(c)のCO<sub>2</sub>濃度が急激に上昇した2018年7月9日前後の風向、風速及び日射量を示した。CO<sub>2</sub>濃度が急上昇した8日の日没以前は昼夜とも風向がほぼ一定(SSE)で、風速が3m/s以上と大きなことから、発生したCO<sub>2</sub>が地表付近に滞留しなかったと考えられた。それに対して、8日の日没以降は夜間の風速が1m/s以下と小さいことから、大気への混合が少なく夜間に発生したCO<sub>2</sub>が地表付近に滞留したことで高濃度になったと考えられた。

日射量の影響については、日射量が少ない7月6・7日と多い8日以降との比較で、昼間のCO<sub>2</sub>濃度の最低値に差がなかった。

### 3.4 夏季と冬季の日内変動

棚峯公園における測定期間の内、夏季と冬季に該当する8月及び1月から2月の測定期間を使用して、CO<sub>2</sub>濃度及び気象の日内変動を比較した(図8)。なお、比較期間は測定した年度が異なる上に、測定期間がそれぞれ約1ヵ月と少ないことから天候の影響(特に日射量の影響)を除外するため1週間連続して降雨がない期間とした。この間における日射量の1時間積算値の最大値は夏季2.9MJ/m<sup>2</sup>、冬季2.5MJ/m<sup>2</sup>で、夏季が0.4MJ/m<sup>2</sup>多かった。平均CO<sub>2</sub>濃度は夏季410ppm、冬季424ppmで冬季が14ppm高く、最大時刻は夏季が6時、冬季が8時で、それぞれ444ppm、432ppmだった。また、最小時刻は夏・冬季とも16時で、それぞれ380ppm、416ppmだった。

日内の濃度差は夏季64ppm、冬季16ppmで、冬季は植物の光合成が活発でないため昼間の減少量が少なく、また、風速が一日を通じて大きいことから日内変動が小さかったと考えられた。

## 4 考察

今回の解析は同地点における通年観測に基づくものでないことから、詳細な日内変動の要因は今後の課題と考えるが、得られた結果から以下の考察を行った。

- ・CO<sub>2</sub>濃度の日内変動が3地点で同様な変化だったことから、松本市の盆地内では同様な日内変

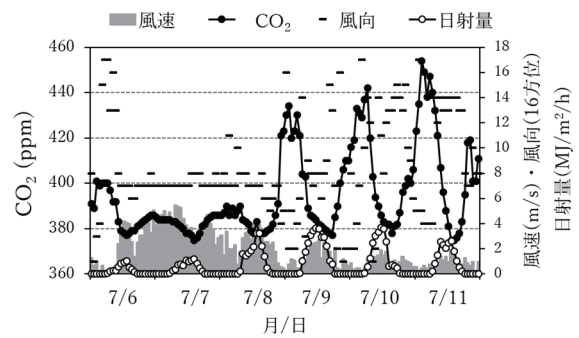


図7 CO<sub>2</sub>濃度(日最大値)の急変時の風速、風向及び日射量(棚峯公園, 2018.7)

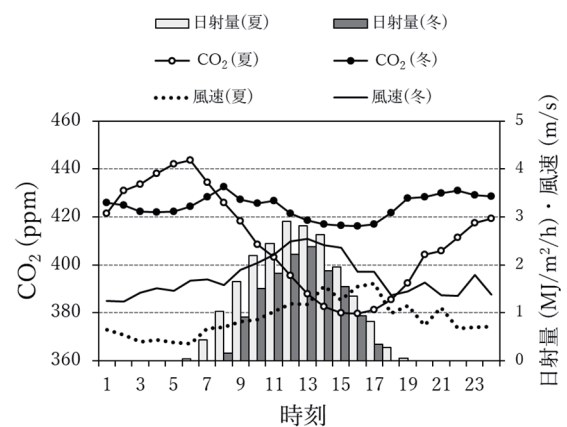


図8 夏季と冬季におけるCO<sub>2</sub>濃度、日射量及び風速の日内変動(棚峯公園, 夏季:2016.8.1-8.7, 冬季:2020.1.31-2.6 ※両季節とも降雨のない1週間を集計)

- ・動が起こっていることが推測された。
- ・地表付近のCO<sub>2</sub>濃度は夏冬とも風が弱く、盆地内の大気が安定しやすい夜間に上昇し、翌早朝が高濃度になることが推測された。このことは、夜間の濃度上昇は他地域からのCO<sub>2</sub>の移流の影響が小さいことを示しており、早朝の濃度は夜間における測定地域周辺からのCO<sub>2</sub>発生量を反映していることが示唆された。
- ・昼間のCO<sub>2</sub>濃度の低下は、地表付近より濃度が低い上空大気との混合希釈と植物の光合成による吸収が主だと考えられた。
- ・地球規模でCO<sub>2</sub>排出量の削減対策を検証するにはバックグランド濃度が指標となるが、松本市のような内陸盆地の日内変動が地域の発生量及び周辺の森林等による吸収量に影響されることが示唆された。そのため、盆地内でCO<sub>2</sub>濃度を

モニタリングすることで、県内のCO<sub>2</sub>排出削減対策の検証、並びに森林の影響評価に有益な知見を得られる可能性が示唆された。

## 5 まとめ

移動測定車で大気中のCO<sub>2</sub>濃度を2011年度から2019年度に測定した地点の内、最も測定回数が多い松本市内の3地点について日内変動を解析し、次の結果を得た。

- (1) 地表付近のCO<sub>2</sub>濃度の日内変動は、早朝の6時から7時に最大となり、15時から16時に最低になることが多かった。
- (2) 早朝が最大になる理由は、夜間に発生したCO<sub>2</sub>が大気が安定しやすい夜間に地表付近に滞留するためと考えられ、約100ppm増加したケースがあった。
- (3) 昼間の減少は上空大気による混合希釈と植物の光合成による吸収が考えられた。
- (4) 冬季は植物の光合成が活発でないため昼間の減少量が少なく、更に、風速が一日を通じて大きい場合は大気の混合により日内変動が小さいことが推測された。

## 謝 辞

本研究にあたり気象庁から綾里、南鳥島及び与那国島の観測データ及び関連資料を利用させていただいた。

## 文 献

- 1) 寺本宗正 (2017) 地球温暖化で土壌から排出される二酸化炭素の量がどれほど増えるのか, 国立環境研究所ニュース, 36(3): 6-9
- 2) 気象庁, 火山ガスの成分: [https://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/rovdm/Miyakejima\\_rovdm/miyakejima\\_gas.html](https://www.data.jma.go.jp/svd/vois/data/tokyo/rovdm/Miyakejima_rovdm/miyakejima_gas.html) (2022年1月確認)
- 3) 気象庁, 海洋による二酸化炭素の吸収・放出の分布: [https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/db/mar\\_env/knowledge/global\\_co2\\_flux/global\\_co2\\_flux\\_map.html](https://www.data.jma.go.jp/gmd/kaiyou/db/mar_env/knowledge/global_co2_flux/global_co2_flux_map.html) (2022年1月確認)
- 4) WMO温室効果ガス年報 (16): [https://www.data.jma.go.jp/env/info/wdcgg/wdcgg\\_bulletin.html](https://www.data.jma.go.jp/env/info/wdcgg/wdcgg_bulletin.html) (2021年12月確認)
- 5) 長野県, 「気候非常事態宣言 -2050ゼロカーボンへの決意-」について: <https://www.pref.nagano.lg.jp/ontai/climateemergency.html> (2022年1月確認)
- 6) 気象庁, 二酸化炭素: [https://ds.data.jma.go.jp/ghg/kanshi/info\\_co2.html](https://ds.data.jma.go.jp/ghg/kanshi/info_co2.html) (2021年12月確認)
- 7) 地球環境研究センター地球環境データベース: <https://db.cger.nies.go.jp/portal/ggtus/index> (2021年12月確認)
- 8) 環境科学国際センター, 二酸化炭素濃度の速報値: <http://www.kankyoku.pref.saitama.lg.jp/CO2/co2data.html> (2021年12月確認)
- 9) 気象庁, 二酸化炭素濃度の年平均値: [https://ds.data.jma.go.jp/ghg/kanshi/obs/co2\\_yearave.html](https://ds.data.jma.go.jp/ghg/kanshi/obs/co2_yearave.html) (2021年12月確認)
- 10) 林野庁, 都道府県別森林率: <https://www.rinya.maff.go.jp/j/keikaku/genkyou/h29/1.html> (2022年1月確認)
- 11) 長野県, 長野県大気汚染等測定結果(資料編): <https://www.pref.nagano.lg.jp/mizutaiki/kurashi/shizen/taiki/jokyo/kihon.html> (2021年12月確認)
- 12) 町田茂 (1993) 埼玉県における二酸化炭素濃度(第2報), 埼玉県公害センター研究報告, 20, 13-18
- 13) 塩沢俊克・大塚定男・相原敬次 (2005) 神奈川県内の大気中二酸化炭素の現状について, 神奈川県環境科学センター研究報告, 28: 73-77
- 14) 井上広史・河崎忠雄 (1994) 愛知県三河一宮における二酸化炭素環境濃度, 愛知県公害調査センター所報, 22: 31-36
- 15) 泉川碩雄・杉山孝一・岩崎好陽・早福正孝・吉岡秀俊・秋山薫 (1994) 地球環境影響物質に関する調査研究(東京都における大気中二酸化炭素及びフロン類のモニタリング結果), 東京都環境科学研究所年報, 1994, 185-193
- 16) 気象庁, 大気・海洋環境観測年報: <https://www.data.jma.go.jp/gmd/env/data/report/data/> (2021年12月確認)
- 17) 国立天文台, こよみの計算: <https://eco.mtk.nao.ac.jp/cgi-bin/koyomi/koyomix.cgi> (2022年1月確認)
- 18) 相原敬次・阿相敏明・鈴木正明・藤沼康実 (2002) 神奈川県における温室効果ガスとしての二酸化炭素

- 化炭素濃度の鉛直構造について，神奈川県環境科学センター研究報告，25：64-72
- 19) 町田敏暢・矢澤健司・田頭剛・井上元・田丸卓 (2001) 相模湾上空における大気中二酸化炭素濃度の航空機観測，航空宇宙技術研究所報告，142 2：1冊
- 20) 気象庁，航空機による上空の温室効果ガス観測：  
[http://ds.data.jma.go.jp/ghg/kanshi/info\\_aircraft.html](http://ds.data.jma.go.jp/ghg/kanshi/info_aircraft.html) (2021年12月確認)

**Daily fluctuation of the carbon dioxide concentration in the atmosphere of  
Nagano prefecture  
-Results of measurements in Matsumoto City by air measuring  
vehicle(2011-2019)-**

Tsutomu HARADA<sup>1,2</sup>

- 1 *Atmospheric Environment Division, Nagano Environmental Conservation  
Research Institute, 1978 Komemura, Amori, Nagano 380-0944, Japan*
- 2 *Present address : Retirement*