

埼玉県における二酸化炭素濃度 (第1報)

町田 茂

要 旨

浦和市において大気中の二酸化炭素濃度の観測を行い、1991年4月から1992年3月までの一年間の二酸化炭素濃度のデータの解析を行った。

その結果、二酸化炭素濃度は1時間平均値で345.1~542.4ppmvの範囲で変動し、一年の変動幅は4月から6月が小さく、11月から2月は大きかった。二酸化炭素濃度の月平均値は12月が最も高く404.6ppmv、逆に8月が最も低く371.1ppmvであった。また二酸化炭素濃度の年平均値は386.1ppmvであった。

二酸化炭素濃度の観測データから、発生源の直接的な影響を除く解析を試み、観測地点における代表的な二酸化炭素濃度を求めたところ、一年間の平均的な濃度は373.0ppmvであった。

1 はじめに

人間の活動に伴って放出される二酸化炭素は、大気の温度上昇を引き起こす原因物質の一つとして近年広く関心を集めており、1960年代の前半から世界気象機関(WMO)を中心として、世界各国で大気中の二酸化炭素濃度の定点観測が継続的に実施されている。

これらは大気中の二酸化炭素のバックグラウンド濃度を観測することを主な目的としているが、都市部における二酸化炭素濃度に関しては、高い精度で連続的に測定された例はない。

当センターでは、都市部に位置付けられる浦和市において1991年4月から大気中の二酸化炭素濃度の観測を続けている。(1991年2月から試験観測を開始)

都市部での二酸化炭素濃度は、自動車、工場、家庭などから排出される二酸化炭素の局地的な汚染の影響や、観測地点周辺の植生の影響¹⁾などが二酸化炭素バックグラウンド濃度に重なった形で得られ、また、風向、風速等の気象条件にも影響され、複雑に変動していると考えられる。

浦和市において、二酸化炭素濃度の観測を一年間続けた結果、二酸化炭素濃度の季節変化、日変化等の特

徴が見られたので、それらについて報告する。

2 観測地点および観測期間

観測地点は埼玉県公害センター(浦和市)屋上である。公害センター周辺は住宅、学校等の多い住宅地域である。公害センターの南約150mに県道が、東約600mには国道17号バイパスが通っており、また、北東約500mには与野市の清掃工場がある。

観測は1991年4月から実施しているが、今回の報告の対象期間は1991年4月1日から1992年3月31日の一年間とした。

3 観測システムの概要

3・1 観測装置

試料空気の採取口は、地上の植生の直接的な影響を避けるため、地上約20m(公害センター屋上)の高さに設置してある。ここから取り入れた試料空気はステンレス製メッシュの除塵フィルターで除塵を行い、ポンプで除湿器に送り込まれる。試料空気中の水蒸気は二酸化炭素濃度測定の原因となるため、三段階

の除湿を行って徹底的に取り除いている。

最終的に -65°C の露点温度まで冷却除湿された試料空気は、除塵した後、非分散型赤外線分析計（NDIR）に送られる。NDIRは堀場製NDIR-VIA500で、約350～450ppmvの二酸化炭素の濃度範囲につき測定値を電圧0～1ボルトで出力する。

NDIRの測定値はAD変換し、パーソナルコンピュータ（FC-9801）に1秒毎に取り込み30秒の平均値を得る。この30秒値を1データとしてフロッピーディスクに収録する。別に測定状態の監視の目的でNDIRの出力は定時に瞬時値がプリンターに出力されるとともに、アナログ記録計にも記録される。

なお、観測装置の詳細については既報²⁾を参照されたい。

3・2 二酸化炭素標準ガス

二酸化炭素標準ガスは、まず国産の二酸化炭素標準ガスを購入し、これを気象庁の協力により世界気象機関（WMO）標準ガス（1985年スケール）と比較検定を行い正確に濃度を決定する。このガスを二次標準ガスとし、さらに実際に観測に用いる観測用標準ガス（国産）はこの二次標準ガスと比較検定を行い、正確な濃度を決定している。二次標準ガスの検定は気象庁の検定装置で行い、観測用標準ガスの検定は本観測装置に設けられた検定装置により行っている。

なお、標準ガスには精製した空気と純粋な二酸化炭素を混合して作ったもの（精製空気ベース）、及び窒素と酸素を混合して作った合成空気に純粋な二酸化炭素を混合して作ったもの（合成空気ベース）等があるが、本観測では合成空気ベースの標準ガスを使用しており、気象庁では精製空気ベースの標準ガスを使用している。

3・3 観測データの精度

NDIRの再現性はフルスケールに対して $\pm 0.2\%$ 以内（同一サンプル、同一条件にて）である。NDIRは、約350～450ppmvの二酸化炭素の濃度範囲につき測定値を電圧0～1ボルトで出力しており、したがって、濃度範囲が350～450ppmvでは $\pm 0.2\text{ppmv}$ 以内の再現性がある。

実際の観測では、1時間平均値の最高値で500ppmvを超えるなど上記の濃度範囲外の測定データが得られる。実験的に500ppmvの濃度の国産の二酸化炭素標準ガスを本観測装置に流して求めた濃度は495ppmv

であった。その誤差は1%程であったので、これら450ppmvを超える高濃度のデータについては、特に上記の濃度範囲（350～450ppmv）のデータと区別することなく取り扱った。

なお、検量線を得るのに用いる観測用標準ガスの濃度範囲は350～410ppmvであるが、この範囲外の濃度の場合は検量線を外挿して濃度を求めている。

4 二酸化炭素濃度の算出

先にも述べたように、NDIRの測定値（電圧値）は30秒平均値としてフロッピーディスクに記録されている。これを二酸化炭素濃度に換算する為に、2時間に1回、約350ppmvから410ppmvまでの4種類の観測用標準ガス（20ppmv刻み）を順次分析計に流している。まず、標準ガスの濃度CとNDIRの出力Vとの関係を表現する二次式（実験式）

$$C = aV^2 + bV + c$$

を最小自乗法により求め、この式に濃度が未知である試料空気のNDIRの出力を代入し濃度を求めている。

5 二酸化炭素濃度値のデータ処理

本システムは、二酸化炭素濃度の30秒平均値を基本データとして処理している。一日に得られる最高2880の30秒平均値から異常値を統計的に処理³⁾し、除いている。1時間平均値は、異常値を除いて残った30秒平均値を毎正時から毎正時まで単純平均して求めている。ただし、1時間内の30秒平均値のデータ数が40以下の場合はその1時間を欠測とした。また、日平均値は、1時間平均値を単純平均して求め、測定時間が20時間以上の日を有効測定日とした。月平均値は、有効測定日の日平均値を単純平均して求めた。

6 観測結果

6・1 観測チャート

図1に観測チャートの一例を示す。2時間おきに規則的に現れているパターンは、4種類の二酸化炭素標準ガスに対するNDIRの出力である。例では明け方4時から朝7時頃は二酸化炭素濃度は370～380ppmvで比較的安定しているが、朝7時から9時の間にスパイク状のピークが何本も現れ、二酸化炭素濃度は激しく変動している。このような短時間の急激な濃度変動は、

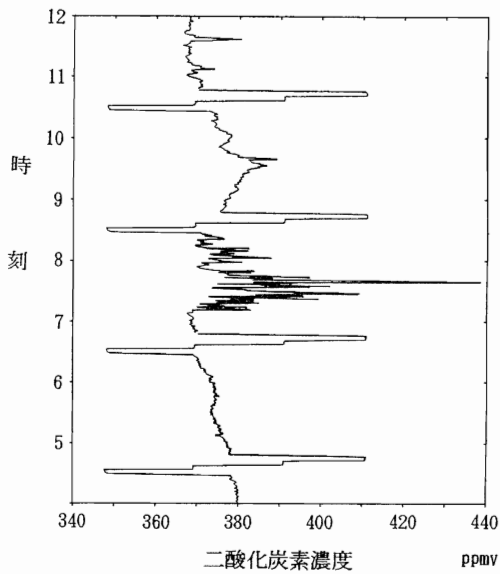


図1 観測チャート(例)

観測地点からごく近い発生源からの直接的な影響によるものと思われる。このスパイク状のピークは朝7時から9時の時間帯に見られることが多く、自動車交通量の多くなる時間帯と一致している。

6・2 二酸化炭素濃度の1時間平均値

図2に二酸化炭素濃度の1時間平均値をプロットしたものを示す。また、表1に月別の1時間平均値の標準偏差および変動係数を示す。1時間平均値の最高値は542.4ppmv、1時間平均値の最低値は345.1ppmvであり、一年の観測で約200ppmv程の変動幅があった。二酸化炭素濃度の1時間平均値の変動は4月から6月が小さく、11月からは2月は大きかった。

6・3 二酸化炭素濃度の月平均値

表2に二酸化炭素濃度の月平均値を示す。また、図3に二酸化炭素濃度の月平均値の推移を示す。

月平均値の最高は12月で、濃度は404.6ppmvであり、最低は8月で371.1ppmvであった。また、月平均値を平均して求めた年平均値は386.1ppmvであった。

参考のために、気象庁が岩手県三陸町綾里で行っている大気バックグラウンド汚染観測による1991年4月から1992年3月のバックグラウンド濃度⁴⁾を同じ表2及び図3の中に示した。

これによると、綾里における月平均値の最大は4月であるが、浦和での同様の最大が12月であり相違があった。また、綾里における月平均値の一年の変動幅は13.6ppmvであるのに対し、浦和での同様の変動幅

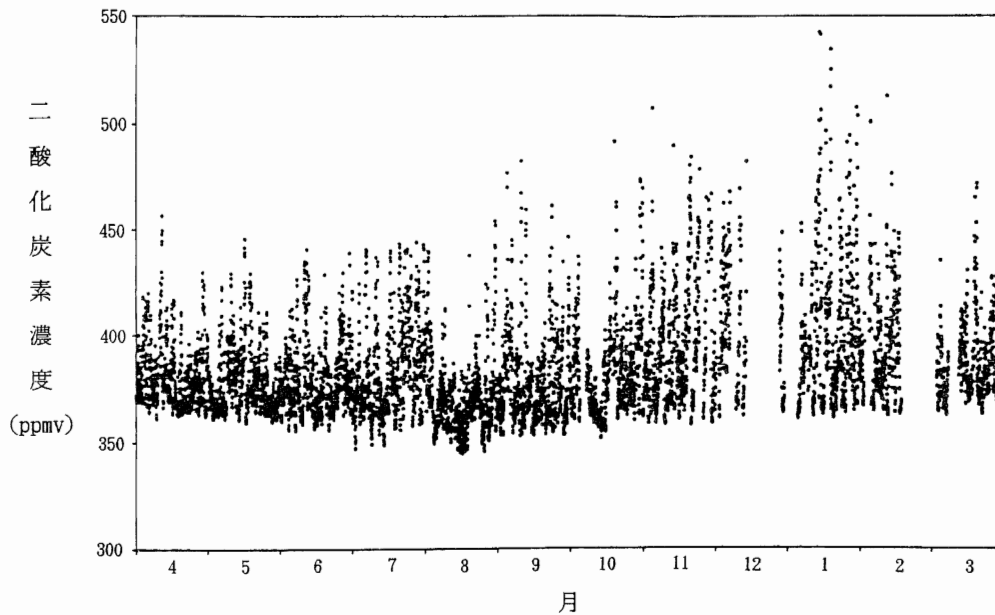


図2 二酸化炭素濃度の1時間平均値の変動

表1 二酸化炭素濃度1時間平均値の標準偏差及び変動係数

月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月
S. D	15.9	15.4	16.8	22.6	17.6	20.9	20.7	27.7	27.8	34.0	26.1	17.6
C. V	4.2	4.1	4.4	5.9	4.7	5.5	5.4	7.0	6.9	8.5	6.6	4.6
データ数	717	727	705	734	726	704	641	638	227	612	346	552

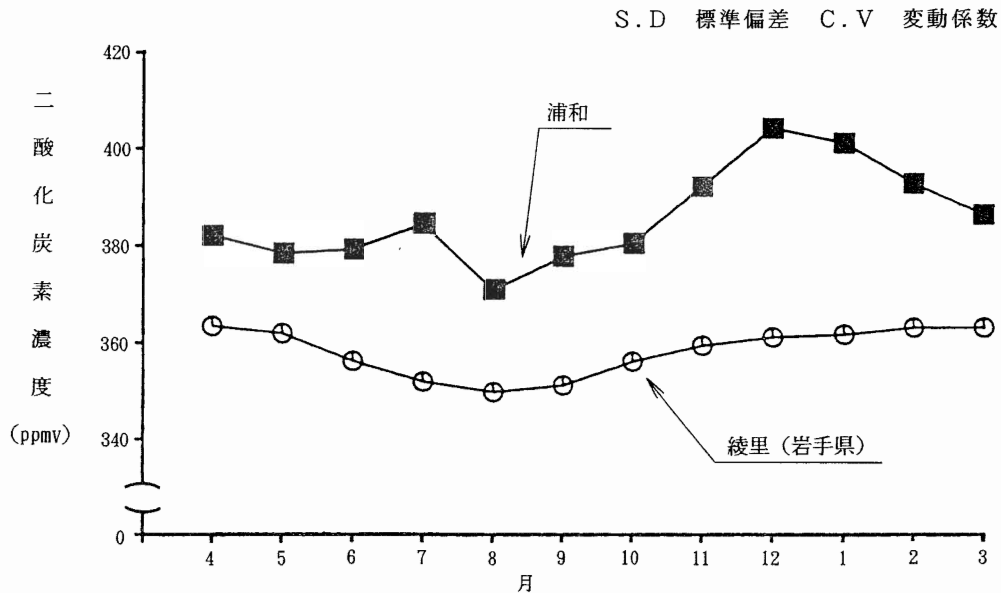


図3 二酸化炭素濃度の月平均値の推移

表2 二酸化炭素の月別濃度

月	浦和	綾里
4月	382.0	363.5
5月	378.5	362.0
6月	379.3	356.3
7月	384.6	352.0
8月	371.1	349.9
9月	378.1	351.4
10月	380.6	356.3
11月	392.5	359.7
12月	404.6	361.4
1月	401.5	361.9
2月	393.2	363.3
3月	386.8	363.3

単位：ppmv

(注) 綾里の1月～3月の値は速報値

は33.5ppmvであり、浦和での月平均値の一年の変動幅は綾里での同様の変動幅の2倍以上であった。さらに、年平均値を比較してみると、綾里における年平均値は358.4ppmvであり、浦和における年平均値386.1ppmvと27.7ppmvの差があった。

7 観測地点における代表的な二酸化炭素濃度

二酸化炭素濃度は、先にも述べたように観測地点周辺(例えば観測地点から半径500m程度を想定)の自動車、工場、家庭などからの発生源の影響を直接受けていると考えられる。これは、図1の例にみられるようにごく短時間の急激な濃度変動に現れていると思われる。

ところで、得られた観測データから、これら観測地

点近くの局地的な影響を除く解析を行なえば、観測地点周辺の、さらに広い範囲の二酸化炭素濃度を代表する値が得られるであろう。

図3に示した気象庁の観測による二酸化炭素バックグラウンド濃度は、観測地点近くの局地的な影響を除くための解析⁵⁾を行なって求めている。

そこで、その手法に準じ、観測地点における代表的な二酸化炭素濃度を求める試みの一つとして、以下の解析処理を行なった。

- ① 1時間内の二酸化炭素濃度の標準偏差が1ppmv以下の場合の1時間平均値を用いて日平均値を計算する。
- ② 4月1日から3月31日までの、①で求めた日平均値に対し、時間の関数で表される次の曲線

$$F(t) = C_1 \sin 2\pi t + C_2 \cos 2\pi t + C_3 \sin 4\pi t + C_4 \cos 4\pi t + C_5 t + C_6$$
 を最小2乗法^{6, 7)}によって求める。ここで、 t は4月1日を起点とし、3月31日を1とした時間、 $C_1 \sim C_6$ は決定すべき係数である。
- ③ 決定した関数 $F(t)$ に対する日平均値の偏差から標準偏差(σ)を計算する。
- ④ 曲線 $F(t)$ から 2σ より離れた日平均値を時系列から棄却する。
- ⑤ ④で求めた時系列(日平均値)に対し②と同様に

新しい曲線 $F(t)$ を決定する。

- ⑥ ③～⑤の手順を繰り返し、④によって時系列から棄却される日平均値がなくなれば終了する。

このようにして得られた関数 $F(t)$ および時系列(日平均値)を図4に示す。

図4のAは、棄却する前の時系列(データ数320)及びそれから求めた関数 $F(t)$ を示している。③～⑤の処理は7回繰り返し、図4のGは最終的に得られた時系列及び関数 $F(t)$ である。処理の途中の段階で得られた時系列及び関数 $F(t)$ を全部ではないが、その一部を図4のB～Fに示した。

また、最終的に得られた関数 $F(t)$ に対し、偏差がそれぞれ2ppmv, 5ppmv, 10ppmv以下の日平均値を選択し、それから求めた月平均値, 年平均値(日平均値の平均)を表3に示した。

最終的に得られた関数 $F(t)$ は、観測地点における代表的な二酸化炭素の一年間の濃度変動を示していると思われる。また、最終的に残ったデータ数241の日平均値の平均は373.0ppmvであり、観測地点周辺における一年間の平均的な濃度を表していると思われる。

なお、以上の解析処理は考えられる様々な手法のうちの一つであり、今後さらに適切なデータ解析により種々の知見が得られるものと期待される。

表3 関数 $F(t)$ から求めた二酸化炭素濃度

月	2ppmv以下		5ppmv以下		10ppmv以下	
	濃度	データ数	濃度	データ数	濃度	データ数
4月	372.0	11	371.3	19	371.7	26
5月	371.8	5	371.2	15	371.8	28
6月	367.5	6	367.6	14	368.5	22
7月	366.4	7	366.4	11	367.1	21
8月	366.8	5	367.6	10	366.5	21
9月	370.5	9	370.7	15	371.6	23
10月	375.7	2	375.1	9	375.1	17
11月	378.2	5	379.4	12	380.4	14
12月	—	0	380.5	2	375.4	4
1月	378.6	1	379.8	9	379.4	15
2月	380.7	1	379.1	3	379.7	8
3月	380.6	5	381.7	10	380.4	17
	371.8 (平均)	57 (合計)	372.9 (平均)	129 (合計)	372.9 (平均)	216 (合計)

濃度の単位：ppmv

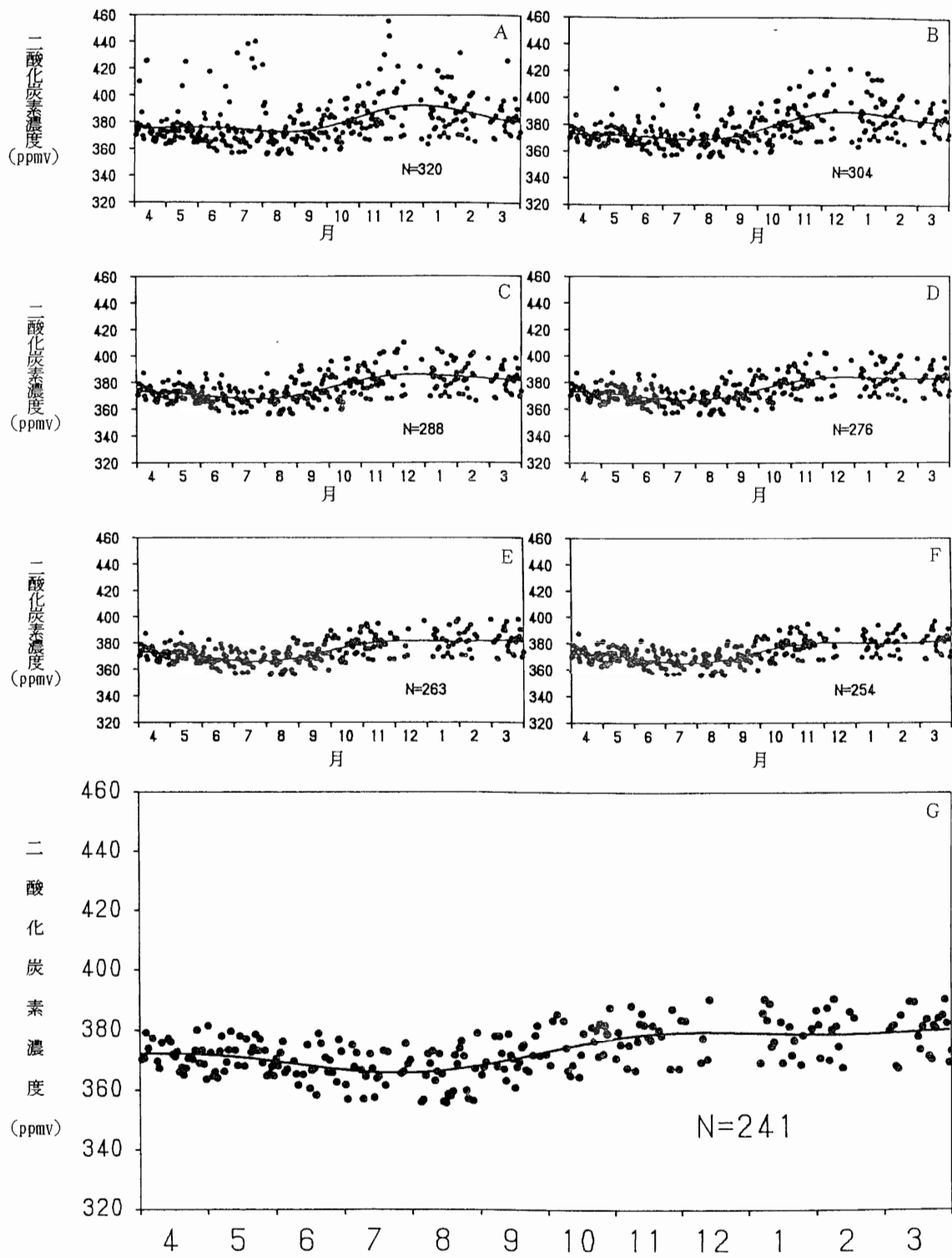


図4 関数 $F(t)$ と時系列

8 謝 辞

本観測は、気象庁観測部測候課の城尾泰彦氏、永田洋二氏、気象庁観測部統計室温暖化情報センターの斉藤三行氏にご指導をいただいております。また、この報告をまとめるにあたり、資料の提供と、貴重なご意見を賜った。ここに記して謝意を表します。

文 献

1) 田中正之：温暖化する地球, pp53, 読売科学選書23

2) 町田 茂・昆野信也：都市部における二酸化炭素濃度観測, 全国公害研究会誌, 17(3), pp2-pp7, 1992

3) 藤森利美：分析技術者のための統計的方法, pp75, 日本環境測定分析協会

4) 気象庁観測部測候課よりの私信

5) The Japan Meteorological Agency, 1990 : Annual Report of Background Air Pollution Observation

6) 青木由直：BASIC数値計算法, pp13, コロナ社

7) 小西栄一：線形代数ベクトル解析, pp21, 培風館