

## 論文

### 都市大気中における二酸化炭素濃度の変動

鈴木正明  
(大気環境部)

#### Carbon dioxide concentrations in the Kanagawa urban area

Masaaki SUZUKI  
(Air Pollution Research Section)

#### Summary

This study reports the concentrations of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) in the urban atmosphere. Monitorings were carried out from June 1990 to March 1991 in Kawasaki and from May 1991 to April 1992 in Hiratsuka.

The overall averages of hourly CO<sub>2</sub> data were 389ppm for Kawasaki and 381ppm for Hiratsuka. The maximum daily CO<sub>2</sub> concentrations were 504ppm for Kawasaki and 440ppm for Hiratsuka. Such high concentrations in Kawasaki were probably due to the large amount of the local CO<sub>2</sub> emission.

The seasonal fluctuation of CO<sub>2</sub> had a maximum value in the winter and a minimum one in the summer. The daily fluctuation of CO<sub>2</sub> was peaked in the night and early morning. Meteorological conditions such as atmospheric stability and wind speed, which make CO<sub>2</sub> dispersion difficult, are thought to be main causes of these CO<sub>2</sub> fluctuations.

CO<sub>2</sub> had good correlations with nitrogen oxide (NO) and carbon monoxide (CO). These correlations indicate that traffic is a dominant source of CO<sub>2</sub>. Meteorological visibility was correlated well with CO<sub>2</sub>.

#### 1. はじめに

大気中の二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) 濃度の増加は、気候の温暖化という影響を与えることが懸念されている。

CO<sub>2</sub> 濃度の増加の主原因は化石燃料消費にあると考えられている。

国際的な温暖化対策促進のため国連内に気候変動に関する枠組条約交渉会議 (INC) が設けられ、その成果として「気候変動に関する枠組条約」が採択された。この条約において、温室効果ガス排出量の1990年代末までの従前レベルへの回帰が目標

として掲げられている<sup>1)</sup>。

全地球的なCO<sub>2</sub>濃度の観測は大気汚染バックグラウンド汚染観測網 (BAPMoN) 等で行われている。日本では1987年以来岩手県三陸町綾里の気象庁ロケット観測所において行われている<sup>1)2)</sup>。

それらの観測データによればCO<sub>2</sub>バックグラウンド濃度は、年間約1.7ppmづつ増加していて、現在では360ppm前後に達している<sup>1)</sup>。

一方、都市域におけるCO<sub>2</sub>濃度の観測例は少ない。人為的排出源が集中している都市域では、それらから直接影響を受けるためCO<sub>2</sub>濃度の変動は

大きい。

本報告は1990年度(平成2年度)川崎において、また1991年度(平成3年度)平塚において行ったCO<sub>2</sub>濃度観測結果をまとめたものである。

## 2. 調査方法

### 2.1 測定期間

- a) 川崎 1990年(平成2年)6月  
～1991年(平成3年)3月
- b) 平塚 1991年(平成3年)5月  
～1992年(平成4年)4月

### 2.2 観測地点

- a) 川崎市幸区南幸町(旧神奈川県公害センター特殊環境部庁舎)

川崎市は人口約120万人、東京、横浜の中間に位置し、市内を幹線道路が多数通過している。臨海部の工業地帯には大規模工場が多数存在する。観測地点は川崎駅の西約1kmに位置し、国道1号線(第2京浜)に面している。大気採取位置は庁舎屋上の地上約20m、国道道路端からの水平距離は約30mである。

- b) 平塚市中原下宿(神奈川県環境科学センター庁舎)

平塚市は人口約25万人、湘南地域の中心都市である。南は相模湾に面し、北西に丹沢山地を控えたおおむね平坦な地形である。農地が多く存在するが、工業も盛んである。観測地点は平塚駅の北約2kmに位置する。幹線道路からは数100m離れている。大気採取位置は庁舎屋上の地上約20mである。

### 2.3 観測方法

CO<sub>2</sub>濃度は非分散赤外線吸収法連続測定器を使用して観測した。

標準ガスには、370ppm付近のCO<sub>2</sub>ガス(airベース)を使用した。ゼロガスには高純度窒素を使用した。

### 2.4 参考データ

CO<sub>2</sub>と風向、風速および大気汚染物質との関係を見るため、神奈川県大気汚染常時監視網のデータを参考にした。川崎の場合は幸保健所(NO、NO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>、風向、風速)および遠藤町交差点(CO)、平

塚の場合は平塚市役所(NO、NO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>、CO、風向、風速)のデータを使用した。

## 3. 観測結果

### 3.1 CO<sub>2</sub>濃度とその変動

川崎における1時間値の平均値は389ppmであった。日平均値の最高値は504ppm(1990年12月8日)、最低値は345ppm(1990年9月12日)であった。

一方、平塚における1時間値の平均値は381ppmであった。日平均値の最高値は440ppm(1991年12月8日)、最低値は350ppm(1991年10月13日)であった。

岩手県綾里における観測結果では1992年の年平均値は359.6ppm<sup>1)</sup>であるので、これより20～30ppm高い結果であった。中澤ら<sup>3)</sup>はCO<sub>2</sub>濃度と窒素酸化物(NO<sub>x</sub>)濃度との関係に1次回帰式をあてはめ、これを用いて11月の横浜中心部について、大気中CO<sub>2</sub>濃度のうち30～60ppmを、バックグラウンド濃度に対する都市域における局地的な人為的加算部分であると計算している。年平均における20～30ppmの差は、この計算結果に近く、その大部分が局地的な化石燃料燃焼による増加であることが推察される。

最低値が観測された日は川崎、平塚ともに台風や発達した低気圧が通過して風雨が強い日であった。一方、川崎で最高値が観測された日は高気圧に広くおおわれた穏やかな天気の日であった。平塚で最高値が観測された日は本州南岸と日本海を低気圧が通過し、曇りがちの気温の低い日であった。

日平均値の最低値は川崎と平塚とで差が小さかった。これに対して最高値は川崎が平塚に比べて高かった。また、高濃度の出現時間数も川崎が平塚に比べてかなり多かった。高濃度は大気安定度の高い大気が滞留しやすい状態で現れる場合が多いために、観測地点周辺に大規模なCO<sub>2</sub>排出源が多数存在する川崎では、平塚に比べて高濃度が出現しやすく、また最高値も高くなりやすいものと考えられる。一方、低濃度は一般に風速が大きく、移流、拡散効果が良く効いている状態で現れる場合が多く、CO<sub>2</sub>濃度は局地的な排出源の影響を受けにくい。このことが川崎と平塚との最低値の差が小さい理由として考えられる。

CO<sub>2</sub>濃度の月別平均値の変化を図1に示す。川崎、平塚ともにCO<sub>2</sub>濃度は寒候期に高く、暖候期に低い傾向がみられた。川崎では最高値は1月の399ppm、最低値は9月の369ppmであった。平塚では最高値は1月の398ppm、最低値は6月および8月の366ppmであった。

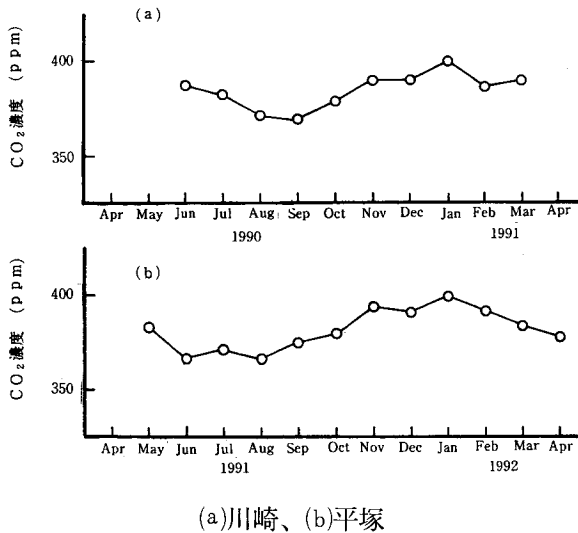


図1 CO<sub>2</sub>濃度の月別平均値

太平洋上や綾里等の人間活動の影響が少ない地域ではCO<sub>2</sub>濃度の月変化は最高値は4月頃、最低値は8月頃に出現することが観測されている<sup>1)</sup>。これは主に植物活動の季節変化にもとづく植物と大気間のCO<sub>2</sub>の吸収や放出にもよって起きる変化である<sup>4)</sup>。これに対して、人間活動が盛んな川崎や平塚では、CO<sub>2</sub>濃度の季節変化は人為的排出源の強度変化や気象状態に大きく左右されることが考えられる。すなわち、寒候期のCO<sub>2</sub>濃度が高いのは、この時期に大気が安定であることが多く、排出されたCO<sub>2</sub>の垂直混合が妨げられる結果、下層大気中にCO<sub>2</sub>が滞留したためと考えられる。川崎に近い鶴見にあるTVKタワーにおける大気安定度の月変化<sup>5)</sup>とCO<sub>2</sub>濃度の月変化とはよく一致していて、上の推察を裏付けていた。一方、暖候期に比較的濃度が低い現象は、人為的排出量の季節変化や大気安定度、海陸風の発達状態等の気象条件の変化によるところが大きく、植物活動の季節変化にもよる濃度変化は比較的少ないであろうと推察される。

季節変動の幅、すなわち月平均値の最高値と最低値との差は、川崎では30ppm、平塚では32ppmであり、綾里での約13ppm<sup>1)</sup>に比べて大きかった。

次にCO<sub>2</sub>濃度の時間帯別平均値の変化を全期間、暖候期(6、7、8月)および寒候期(12、1、2月)のそれぞれの期間について図2に示す。いずれの期間についても川崎と平塚とで共通した傾向がみられた。すなわち、暖候期には早朝に高濃度が現れ、日中は濃度が低下してゆき、15~16時頃に最低となる。一方、寒候期には早朝の高濃度は暖候期に比べてやや遅れて8~9時頃に現れ、日中は暖候期同様濃度が低下してゆき、13~16時頃に最も低くなる。また、暖候期には顕著でなかった夜間21時以降の高濃度が顕著に現れる。日変化の幅は寒候期の方が暖候期に比較して大きかった。

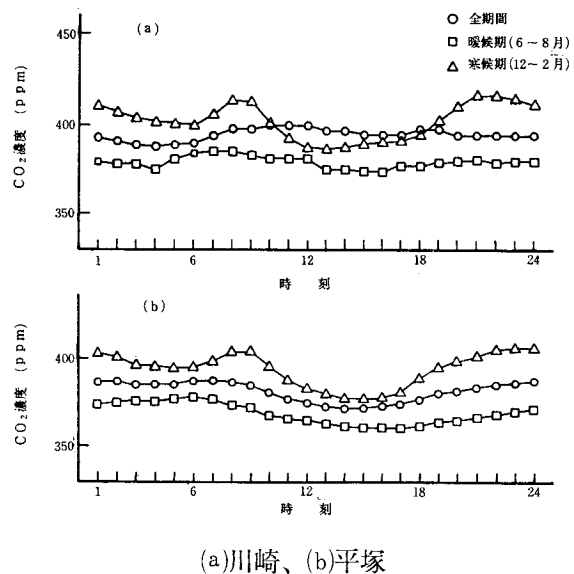


図2 CO<sub>2</sub>濃度の時間帯別平均値

1日を周期とする濃度変化の原因として風向、風速、大気安定度等の気象状態の変化や植物活動の日変化が考えられる。TVK鶴見タワーにおける時間帯別大気安定度<sup>5)</sup>とCO<sub>2</sub>濃度の変化とはよく一致していて、大気安定度の影響が大きいことが推察される。植物活動にもとづくCO<sub>2</sub>濃度の日変化の幅は、植物活動が盛んな暖候期の方が寒候期に比べて大きいものと考えられる。しかし、観測結果では寒候期の日変化の幅が暖候期のそれを大きく上回っていて、川崎や平塚では植物活動がCO<sub>2</sub>濃度に及ぼす影響は他の要因と比較して小さいことが推察される。

図3には曜日別のCO<sub>2</sub>濃度平均値の変化を示す。川崎では最高値は月曜日、火曜日で392ppm、最低値は金曜日で386ppmであった。平塚では最高値は火曜日で386ppm、最低値は日曜日で377ppm

であった。川崎、平塚ともに変化の幅は小さかった。

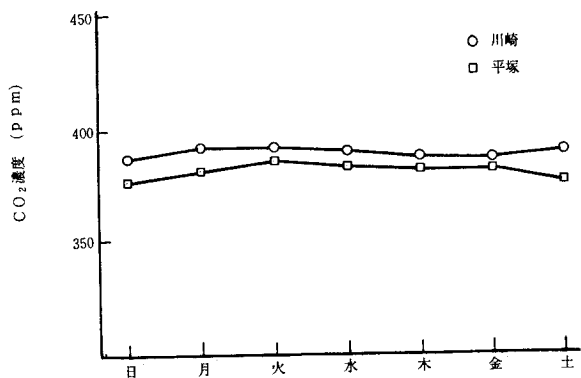


図3 CO<sub>2</sub>濃度の曜日別平均値

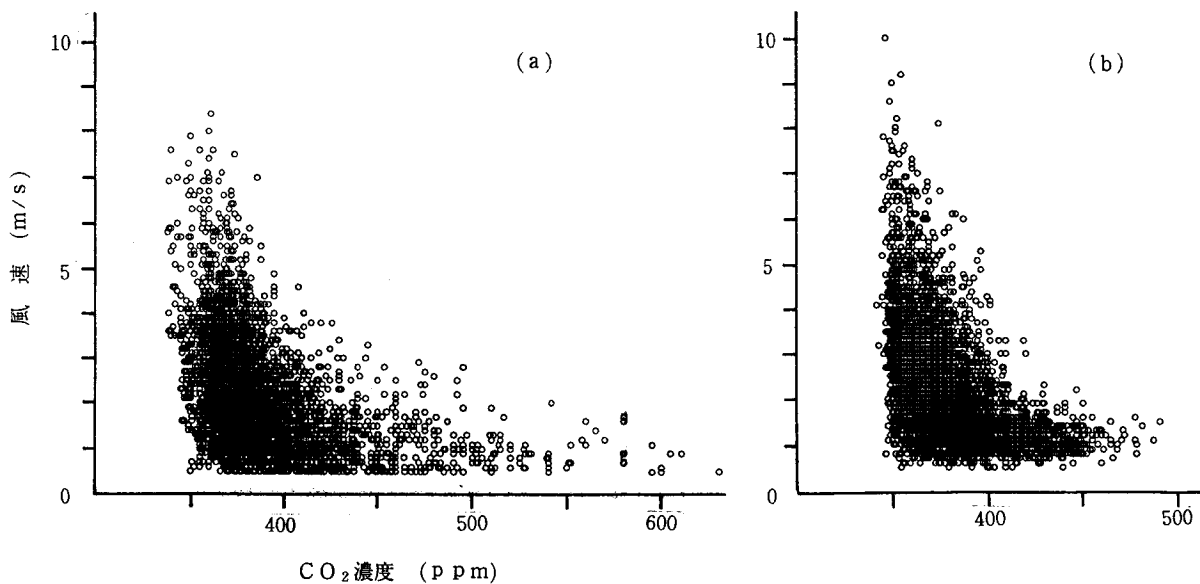
### 3.2 CO<sub>2</sub>濃度と風向風速との関係

CO<sub>2</sub>濃度と風速との関係を図4(a)、(b)に示す。両者は負の相関関係を示し、風速が小さいほどCO<sub>2</sub>濃度は高くなる傾向がみられた。また、風速が5 m/s以上ではCO<sub>2</sub>濃度は360ppm前後でほぼ一定であった。

川崎と平塚との濃度差は強風時には小さく、弱風時には大きかった。排出量が多い地域ほど弱風時の濃度上昇は大きくなるものと考えられる。

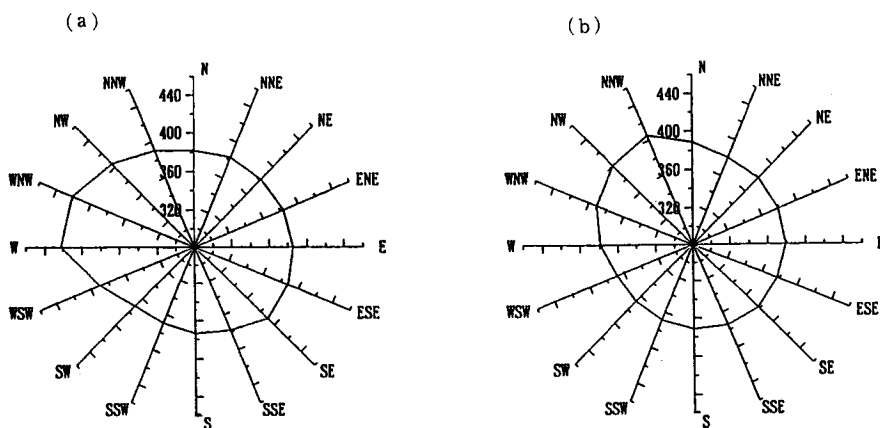
図5には風向別のCO<sub>2</sub>濃度平均値を示す。

川崎では南南東～南西風時のCO<sub>2</sub>濃度が比較的 low、西～北西風時に比較的高かった。一般にCO<sub>2</sub>濃度は排出源の風下側が高いと考えられる。



(a)川崎、(b)平塚

図4 CO<sub>2</sub>濃度と風速との関係



(a)川崎、(b)平塚

図5 風向別のCO<sub>2</sub>濃度平均値

観測地点の周辺にはCO<sub>2</sub>排出源として、東～南方向に臨海部大規模工場群がある。また、すぐ東側を第2京浜が南北に通じ、この他第1京浜、産業道路等交通量が多い道路が東方向に集中している。観測データでは南東風時の濃度が僅かに高くなっていたが、排出源分布から予想されるような東～南風時の濃度が他の風向の時に比べて顕著に高くなるという現象はみられなかった。一方、比較的濃度が高かった西～北北西方向は丘陵地であり、排出源分布には他の風向の時に比べて高濃度になる原因は見いだせなかった。

平塚では南～西南西風時のCO<sub>2</sub>濃度が比較的低く、西北西～北風時の濃度が比較的高かった。川崎の場合と同様に、周辺の工場や道路の分布には西北西～北風時に他の風向の時に比べて濃度が高くなる原因は見いだせなかった。

川崎、平塚ともに南寄りの風の時に濃度が低く、西ないし北寄りの風の時に濃度が高いことから、風向毎のCO<sub>2</sub>濃度の平均値の大小は、季節的な風向頻度と関係があるように考えられる。すなわち、高濃度が出現する寒候期には北西寄りの風向頻度が高く、一方、比較的濃度が低い暖候期には南東寄りの風向頻度が高いことが原因ではないかと考えられる。

### 3.3 CO<sub>2</sub>濃度と視程との関係

図6に川崎における視程とCO<sub>2</sub>濃度との関係を示す。視程が悪くなるとCO<sub>2</sub>濃度は高くなる傾向がみられた。いずれも風速と高い相関関係を示すことが認められた。

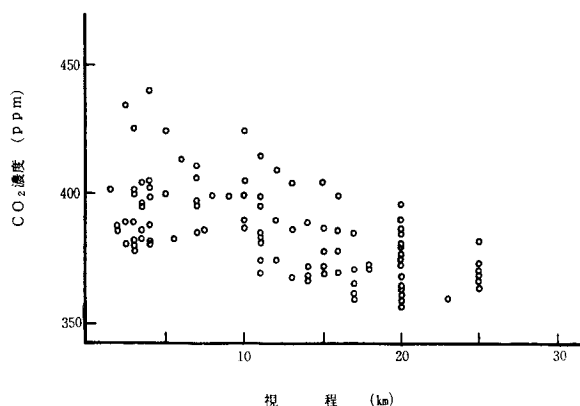


図6 CO<sub>2</sub>濃度と視程との関係(川崎)

### 3.4 CO<sub>2</sub>濃度と大気汚染物質濃度との関係

3.1で述べたとおり、都市域では大気中CO<sub>2</sub>濃

度に対する化石燃料燃焼に由来するCO<sub>2</sub>の寄与が大きい。

化石燃料の燃焼にともないCO<sub>2</sub>とともに一酸化窒素(NO)、二酸化窒素(NO<sub>2</sub>)、二酸化硫黄(SO<sub>2</sub>)、一酸化炭素(CO)等の大気汚染物質が大気中に排出される。

表1にCO<sub>2</sub>濃度と大気汚染物質濃度との関係を示す。

表1 CO<sub>2</sub>と大気汚染物質との関係

$$Y = aX + b, r: \text{相関係数}, n: \text{データ数}$$

(a) 川崎

Y	X	a	b	r	n
CO <sub>2</sub>	NO	1.745	-636.1	0.84	5612
CO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	0.452	-139.6	0.70	5613
CO <sub>2</sub>	CO	0.319	-109.9	0.85	5601
CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	0.141	-44.9	0.61	5621

(b) 平塚

Y	X	a	b	r	n
CO <sub>2</sub>	NO	1.247	-447.6	0.73	8122
CO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	0.498	-157.5	0.65	8122
CO <sub>2</sub>	CO	0.202	-66.6	0.68	8026
CO <sub>2</sub>	SO <sub>2</sub>	0.145	-47.3	0.66	8125

CO<sub>2</sub>と相関係数が高い物質はCOとNOであった。COは自動車の排出寄与が大きく、これとの相関係数が高いことから川崎の観測地点ではCO<sub>2</sub>に対する自動車の寄与が大きいことが推察される。平塚に比べて川崎の方がCO<sub>2</sub>とCOとの相関係数が高い理由は川崎の観測地点が平塚に比べて道路に近いためであると考えられる。しかし、平塚においても固定排出源の寄与が大きいと思われるSO<sub>2</sub>に比べてCOとの相関係数の方が高く、自動車の寄与がかなり大きいことが推察される。

## 4. おわりに

神奈川県を含む南関東地域は産業が集中し、交通運輸網の発達が著しく、化石燃料消費量は大きい。

化石燃料消費量<sup>6)</sup>から求めた神奈川県の化石燃料の燃焼にともなうCO<sub>2</sub>排出量は1988年度(昭和63年度)5300万トン、1990年度(平成2年度)約6100万トンである。

川崎、平塚とも化石燃料の燃焼による排出状態、

気象状態の変化がCO<sub>2</sub>濃度の日変動、季節変動にあらわれていた。平均値はそれぞれ389ppm、381ppmであり、排出強度の地域差を反映した結果になっていた。

都市域には人為的排出源が集中していて、観測地点の近隣排出源から直接影響を受けて、CO<sub>2</sub>濃度の変動する可能性が高い。都市域の平均的なCO<sub>2</sub>濃度の変動をとらえるために、一般性に乏しい、これらの変動はできるだけ除去することが望ましい。したがって、都市域での観測ではバックグラウンドでの観測以上に、観測データの取り扱いには注意を払う必要がある。しかし、人為的排出源に近いところで継続して観測データを蓄積することにより、排出抑制対策の効果をいち早く捉えることができ、有効な温暖化対策の検討が可能になるものと考えられる。

#### 参 考 文 献

- 1) 気象庁編：地球温暖化監視レポート1992、p.48～50、p.61～65、p.186～188 (1993)
- 2) 斎藤三行：大気バックグラウンド観測装置(1)、気象、35(2)、36～38 (1991)
- 3) 中澤誠、牧野宏、才木義雄：大気環境質の評価に関する研究(第1報)環境指標としての二酸化炭素濃度、神奈川県試験連絡協議会環境部会共同研究報告書、第17号、11～17 (1985)
- 4) 田中正之、中澤清高、青木周司：大気中の二酸化炭素濃度の時空間変動特性、気象研究ノート、第160号、23～46 (1987)
- 5) 神奈川県環境科学センター：平成2年度神奈川の大气汚染、75～76 (1992)
- 6) 神奈川県企画部科学技術政策室：平成3年度版エネルギーと神奈川、24～27 (1992)