

地球環境影響物質に関する調査研究（第2報）

—東京都における大気中の二酸化炭素のモニタリング結果とデータ解析による統計的特徴—

杉山孝一 泉川碩雄 伊藤政志
 岩崎好陽 早福正孝 吉岡秀俊
 秋山 薫

要 旨

平成5年から都内3測定局で二酸化炭素のモニタリングを開始した。平成5年度及び平成6年度の2年間を通して、二酸化炭素濃度の経月変動は、冬期に高く夏期に低い傾向を示した。日変化パターンは、環境研測定局及び能ヶ谷測定局で、夜間に濃度の最高値が現れ日中に最低値を示したが、都庁測定局では逆の結果であった。

平成6年度では、気象要素との関係を都庁測定局で検討した結果、南風の場合に各風速において高濃度の出現する傾向があった。都市におけるバックグラウンド濃度の把握のため、能ヶ谷測定局で逆転層を伴う大気安定層の形成が起こりにくいとする風速3 m/s以上時の値を選び出し、その平均濃度を求めると366.8 ppmであり、平成5年度に比べて1.9 ppmの増加が認められた。また、データ解析による統計的特徴として、二酸化炭素濃度の時間値は3母数対数正規分布をすることが分かった。

A study on Monitoring of Global Environmental Pollutants (II)

—Monitoring Result of Carbon Dioxide in the Atmosphere in Tokyo and Statistical Characteristics
 by Data Analysis—

Kouichi Sugiyama, Sekio Izumikawa
 Masashi Ito, Yoshiharu Iwasaki
 Masataka Soufuku, Hidetoshi Yoshioka
 and Kaoru Akiyama

Summary

The concentration of carbon dioxide has been monitored at 3 measurement stations in Tokyo from 1993. From April 1993 to March 1995, the monthly change of carbon dioxide density showed a low tendency in the summer and high in the winter. At the laboratory of Tokyo Metropolitan Research Institute For Environmental Protection measurement station and Nougaya station, the highest value of density appeared in the night, where as minimum value during the day, but Tokyo Metropolitan Government Office measurement station, the result was reverse in diurnal variation patten.

As a result of investigating the relation with meteorological element, in the Fiscal year 1994 Tokyo Metropolitan Government Office measurement station had the tendency of showing high density due to wind velocity in case of south wardwind. The wind velocity 3m/s was selected for the formation of atmospheric stability layer accompanied with inversion layer (which is hard to happen), to understand the background density in a city at Nougaya measurement station. The average density was 366.8ppm, showing an increase of 1.9ppm compared to that of fiscal year 1993. The statistical characteristic of the hourly value

of carbon dioxide density, by data analysis shows 3 population parameter logarithm normal distribution.

1 はじめに

地球温暖化は、全地球的規模で人類社会や生態系に大きな影響を及ぼすことから、緊急に解決しなければならない問題の一つである。もし、何らかの方策も取られないまま、二酸化炭素（以下、「CO₂」という。）等の「温室効果ガス」の人為的排出増加が続くならば、地球の平均気温は2025年に約1℃、21世紀末に約3℃上昇し、これにより海面が2030年に約20cm、21世紀末に約65cm¹⁾上昇することが予測され、気候の変化が起こり、それに伴う低地の水没、農業への影響、生態系の変化など、人類の活動基盤に対する影響ははかり知れない。

東京地域では、温室効果ガスの内CO₂の排出量は16,410千t/年（1990年、炭素換算）と、全国のその5.1%を占めている。なお、このCO₂の温暖化寄与率は温室効果ガスの80%¹⁾を占めている現状にある。

東京都は、平成4年に「東京都地球環境保全行動計画」を、更に地球温暖化防止対策を総合的に推進するため、平成7年に「東京都地球温暖化防止対策地域推進計画」を策定した。この計画は地球温暖化につながる都内のCO₂の排出量を2000年を目標に1990年レベルまで削減・抑制する都市づくりを目指すと共に、計画事業の一つとしてCO₂のモニタリングを実施し環境監視を続けていくことを明らかにしている。

CO₂のモニタリングについては、平成5年から都内3測定局で自動測定装置による連続測定を開始した。第1報²⁾では平成5年度に測定したCO₂の測定結果を報告したが、第2報では平成6年度の測定結果とデータ解析の統計的特徴について報告する。

2 調査

(1) 調査地点

測定局の設置場所は能ヶ谷（町田市・住宅地域）、都庁（新宿区・商業地域）、環境研（江東区・工業地域）の都内3地点で、試料大気採取口の高さはそれぞれ、約18m、約230m、約33mである。

(2) CO₂の測定方法

大気中のCO₂濃度の分析は非分散型赤外線吸収法に基づく赤外線式ガス分析計（島津製作所製）を用いた自動測定装置で連続測定した。

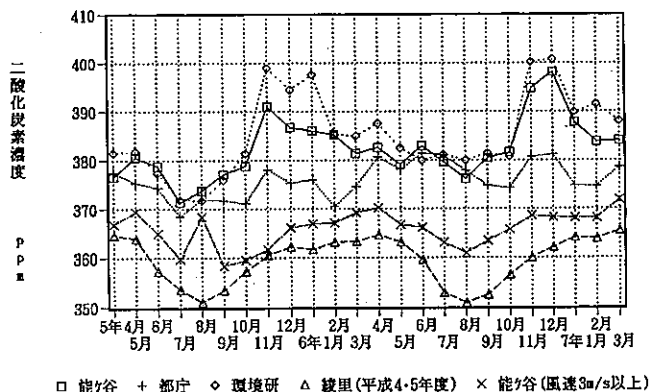


図1 3地点の二酸化炭素濃度月別平均値（平成5年4月から平成7年3月）

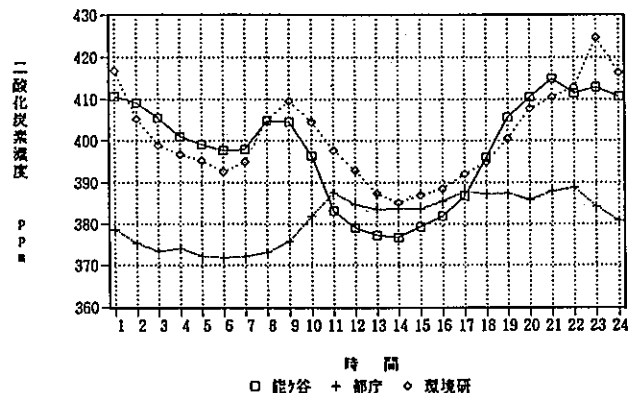


図2 二酸化炭素濃度の日変化パターン（平成6年12月）

3 測定結果及び考察

(1) CO₂濃度の現状

平成6年4月から平成7年3月までの平成6年度における3測定局の測定結果（月平均濃度、1時間値の最大値及び最小値）を表1に示し、平成5年4月から平成7年3月までの2年間にわたる3測定局の経月変動と、気象庁の岩手県三陸町綾里の大気バックグラウンド測定局における経月値を図1に示す。また、月平均濃度の最高値を示した平成6年12月と最低値を示した平成6年8月の各測定局の日変化パターンを図2及び図3に示す。

ア 年平均濃度

平成6年度の測定局別濃度は、年平均値でみると環境研が387.0ppmで最も高く、次いで能ヶ谷が384.2ppm、都庁が378.1ppmであった。これらは昨年と比べそれぞれ

表1 二酸化炭素濃度測定結果 (平成6年度)

単位 : ppm

	能ヶ谷測定局			都庁測定局			環境研測定局		
	平均値	最大値	最小値	平均値	最大値	最小値	平均値	最大値	最小値
H6									
4月	382.5	489.5	357.9	380.7	437.5	361.6	387.5	495.8	365.4
5月	379.1	450.7	356.9	378.0	435.0	360.6	382.4	451.4	363.0
6月	382.9	455.4	352.9	381.4	465.5	354.4	380.0	448.8	358.8
7月	379.6	461.4	353.7	381.0	433.9	358.8	381.1	432.1	354.1
8月	376.2	442.3	351.6	377.8	463.2	352.1	380.0	428.0	357.2
9月	380.4	464.5	351.9	374.8	441.0	354.7	381.4	439.1	354.8
10月	381.6	473.1	356.0	374.3	432.0	355.1	380.8	446.1	357.6
11月	394.7	499.3	354.5	380.6	469.4	355.2	400.2	535.0	360.4
12月	398.1	498.1	361.0	381.1	503.4	358.1	400.8	607.9	366.0
H7									
1月	387.7	475.6	359.4	374.8	473.9	357.6	389.9	518.4	364.5
2月	383.7	483.6	358.5	374.6	459.6	359.2	391.4	496.2	364.7
3月	384.0	444.9	360.7	378.5	452.6	360.8	388.0	520.7	363.7
平均	384.2			378.1			387.0		

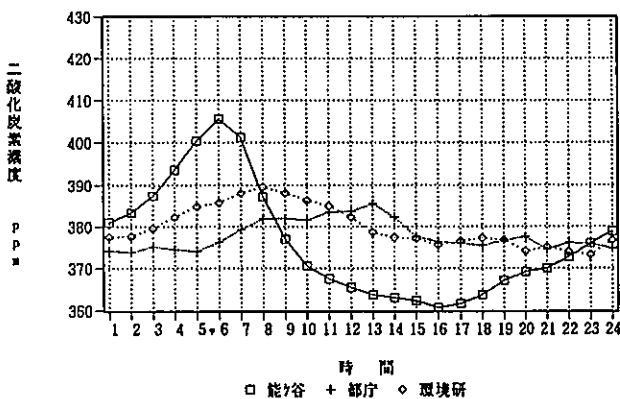


図3 二酸化炭素濃度の日変化パターン (平成6年8月)

れ3.5ppm、3.6ppm、4.3ppm 増加している。綾里における年増加量 (1993年から1994年) の2.3ppmと比べると、1.2 ppm、1.3ppm、2.0ppm 大きい。

CO₂濃度を世界的に見てみると、産業革命以前は約280ppmであったが、「気候変動に関する政府間パネル」IPCCの特別報告書 (1994年) では1992年現在の世界のCO₂の平均濃度は約355ppmであり、毎年約1.5ppm/年 (0.4%/年) ずつ増加している³⁾と報告している。また、大気中のCO₂濃度については、①緯度別にみると工業活動の最も盛んな北半球中・高緯度濃度が最も高い。②北半球中緯度は季節的に濃度変動が大きく、夏低く冬から春にかけて高い濃度を示し、その変動幅は

10～15ppm前後³⁾である。

一方、気象庁の岩手県三陸町綾里における観測結果³⁾によれば、観測を開始した1987年の年平均濃度は350.5 ppmで、1994年には、361.6ppmと増加し、平均的な年増加量は約1.6ppm/年 (0.4 %/年) であった。また、平均的な季節変動幅 (月平均濃度の最高値と最低値の差) は約13ppmである。これを3測定局の変動幅と比較すると、能ヶ谷と環境研は大きく、都庁は小さくなっている。

イ 経月変化

平成6年度の月平均値の濃度変動は、能ヶ谷及び環境研とも12月に最高値 (平成5年度は11月) を示し、8月に最低値 (平成5年度は7月) となり、平成5年度と同様の変動パターンを示している。都庁では6月に最高値を、10月に最低値を示し、平成5年度とは異なる変動パターンであるが、最高値の6月と12月はほぼ同じであり、3測定局とも冬期に最高値を示す傾向がみられる。

月別にみた場合、能ヶ谷と環境研の月平均濃度を比較すると5月から10月はほとんど濃度差がみられないが、大気安定度の増す11月から2月にかけて最大7.7ppmの濃度差がみられる。都庁は年間を通して月平均濃度差が7.1ppmで、環境研の20.8ppm、能ヶ谷の21.9ppmに比べて小さくなっている。これは昨年と同じ傾向で、都庁の試料採取口が高所にあるため、移動発生源などの直接の影響が他の測定局に比べ少ないと考えられる。

ウ 日変化パターン

最高値を示した12月の日変化パターンは能ヶ谷と環境研が夜間に濃度の最高値が現れ、日中に最低値を示すパターンになっている。この両測定局における夜間の濃度と昼間の濃度の最大値は40ppm程度みられる。一方、都庁の日変化パターンは夜になって濃度の最高値を示したが、日中から高濃度になり、夜間に最低値を示すパターンとなっている。他の2測定局と反対になるこの傾向は平成5年度と同じである。この時の夜間の濃度と昼間の濃度の最大差は20ppm程度であった。最低値を示した8月の日変化パターンは3測定局とも傾向として12月と同様のパターンを示し、都庁と環境研では夜間と昼間の濃度差は小さくなっているが、能ヶ谷では45ppmと大きくなっている。

エ 気象との関係

CO₂の汚染源を把握する方法として、風向・風速の測

定が可能である都庁と能ヶ谷における風向・風速に対するCO₂の等濃度線を図4、図5、図6及び図7に示す。

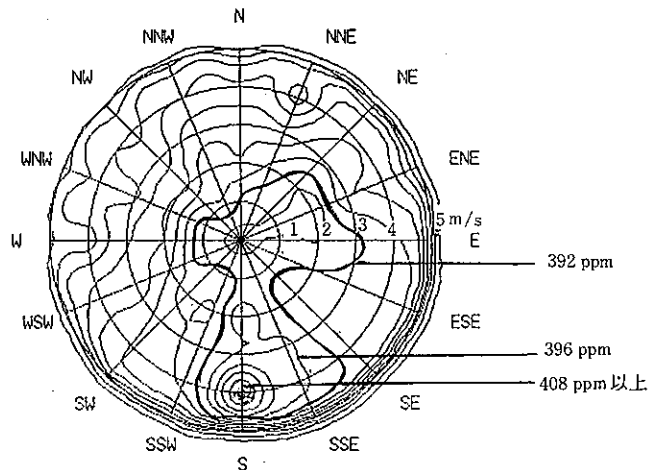


図4 都庁 (平成6年12月) 等濃度線

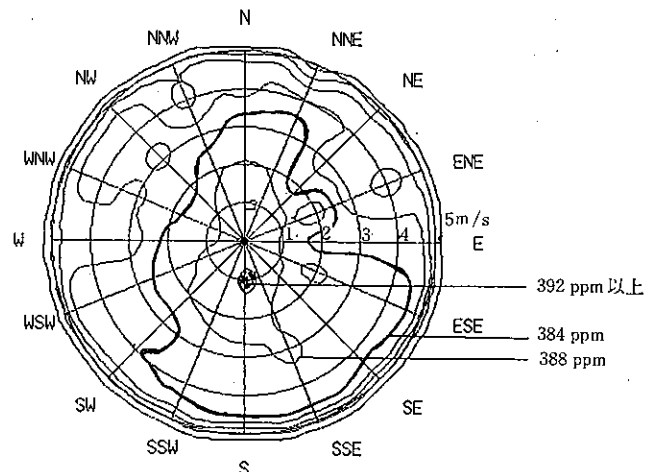


図5 都庁 (平成6年7月) 等濃度線

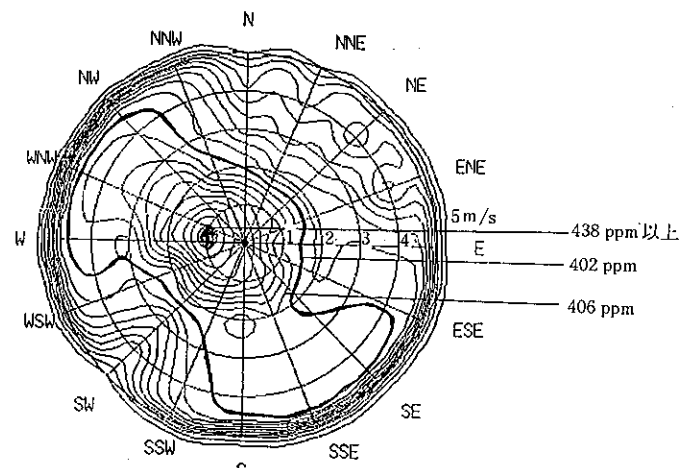


図6 能ヶ谷 (平成6年12月) 等濃度線

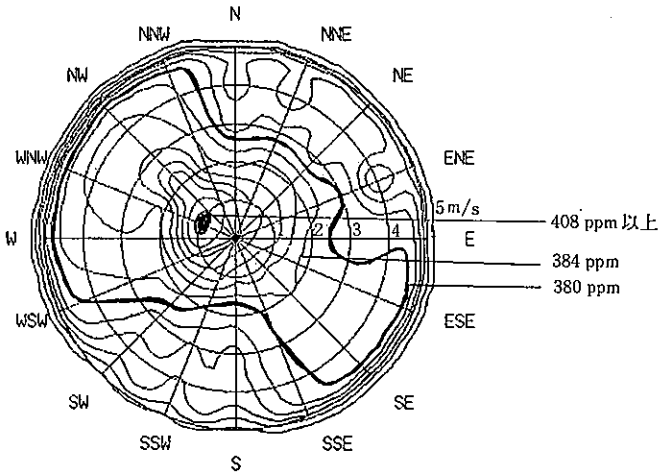


図7 能ヶ谷(平成6年7月)等濃度線

① 都庁における月別の最高濃度出現状況は、SSE、S、SSWであるS成分の風で、風速は1 m/sの時であり、11月及び12月では風速4 m/sの時であった。3月及び6月はE及びESEのE成分の風の時であった。

② 都庁の月別濃度分布の傾向をみると、S成分の風の時には、風速が4 m/s以上と大きくても濃度は高く、また、年間を通して各風速においても濃度が高い。一方、N成分の風では、風速が小さいほど濃度が高くなっている。このことから、CO₂の汚染源は都庁の南側であることが推測される。

③ 能ヶ谷の7月と12月では、W成分の風の時に最高濃度が出現し、各風速とも濃度も高くなっている。これから、汚染源は西側であることが推測される。

オ 高さとの関係

都庁舎北塔における高度別濃度調査を平成6年11月8日に行った結果を表3に示す。47階は363.8ppm、25階は370.9ppm、1・2階の平均値は381.3ppmと各階の平均濃度差は約10ppmであった。また、同時に測定した環境研では366ppm、能ヶ谷は364.3ppmであり、3測定局の年平均濃度の順番と同じ傾向であった。今回の調査は4回/日のため、継続して調査をする必要はあるが、立体測定局(東京タワー)での二酸化硫黄及び窒素酸化物等の各濃度は高層(225m)と比べ低層(25m)が高い傾向にある。低層では風速が弱く拡散が生じにくいからと推測している。

(2) 都市大気バックグラウンドレベルの推定

ア 有風時の抽出による方法

平成5年度と同様、都市におけるバックグラウンド濃度

レベルの把握として、能ヶ谷における月別のCO₂濃度について、都市部において逆転層を伴う大気安定層の形成が起こりにくく、広範囲で混合大気状況を形成すると考えられる風速3 m/s以上時の値を選びだし、その平均濃度を求め、表2と図1に示した。

表2 風速3 m/s以上の時のCO₂濃度(能ヶ谷)

平成6年度	単位: ppm
4月	370.3
5月	366.7
6月	366.1
7月	363.1
8月	361.0
9月	363.4
10月	365.7
11月	368.6
12月	368.3
1月	368.2
2月	368.2
3月	371.9
平均	366.8

表3 都庁第一庁舎高度別CO₂濃度測定結果(平成6年11月8日調査)

単位: ppm

	1階		2階		1.2階 の平均	25階 約120M	47階 約230M
	北側	西側	南側	東側			
平均	376.7	395.8	381.4	371.4	381.3	370.9	363.8

① 風速 3 m/s 以上時の年平均濃度について、能ヶ谷の値は 366.8ppm であり、綾里の年平均濃度 361.6ppm (1994年)³⁾⁵⁾ に比べ 5.2ppm 高い値であった。

② 能ヶ谷における風速 3 m/s 以上時の平成 6 年度年平均濃度 366.8ppm は、平成 5 年度の 364.9ppm と比べ、増加量は 1.9ppm であり、IPCC 報告及び綾里の増加量とほぼ同じである。

③ この大気混合が進んだ時の CO₂ 濃度 365ppm 前後は、ほぼ都市大気のバックグラウンド濃度レベルを示しているのではないかと考えられる。

④ このことから、CO₂ の汚染状況を能ヶ谷の年平均濃度と風速 3 m/s 以上時の年平均濃度の差として考えた場合、昨年度は 15.7ppm で今年度は 17.4ppm となり、1.7ppm の汚染の増加が認められた。

イ CO₂ 濃度の統計的特徴

1 時間値の大気汚染濃度分布は、対数正規分布をすると一般に言われている⁶⁾。ところが、都市域の CO₂ 濃度は、発生する CO₂ 濃度に地球規模のバックグラウンド濃度が加算されているため、これを引いたものが対数正規分布をすと思われる。そこで 3 つの母数をもつ分布の内、3 母数対数正規分布

$$f(x; \theta, \mu, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \frac{1}{x-\theta} \exp \left\{ -\frac{[\ln(x-\theta) - \mu]^2}{2\sigma^2} \right\}$$

を最尤法によりあてはめた⁷⁾⁸⁾。

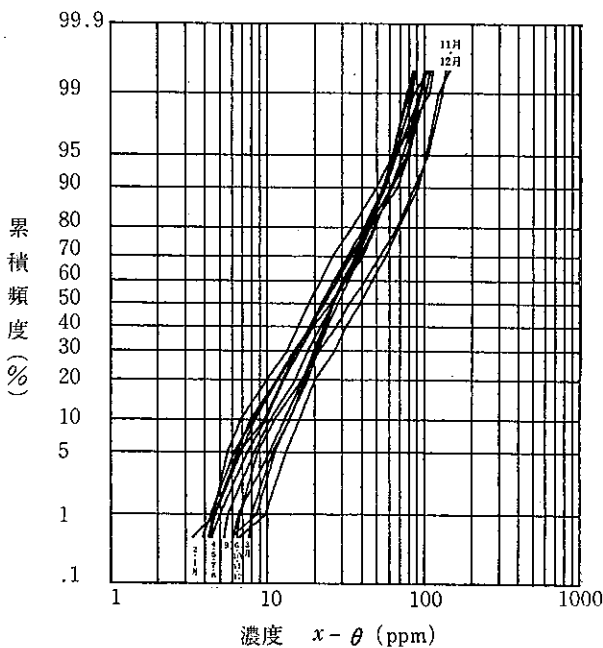


図 8 $x-\theta$ の対数正規確率プロット
能ヶ谷 (平成 6 年度)

図 8、図 9 及び図 10 は 3 測定局における毎時間の CO₂ 濃度を月毎に 3 母数対数正規分布と仮定し、 θ を求め、(濃度 - θ) を対数正規確率紙にプロットしたものである。全体として、ほぼ直線上に乗っており CO₂ 濃度の時間値は 3 母数対数正規分布をすることが分かる。

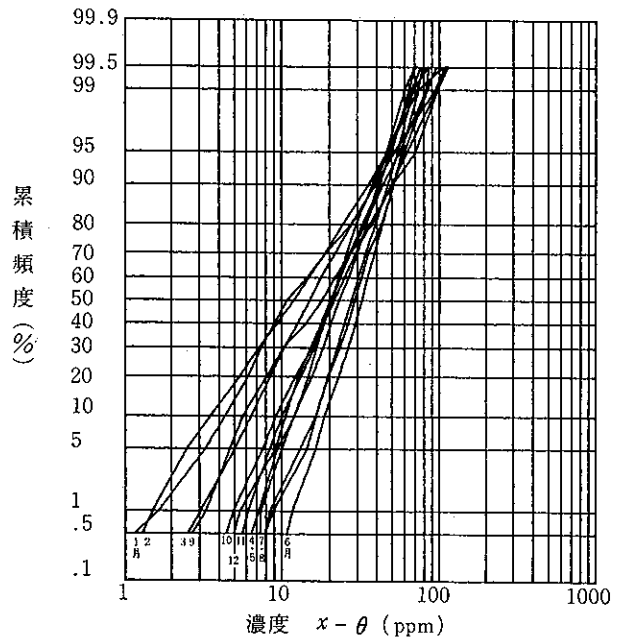


図 9 $x-\theta$ の対数正規確率プロット
都庁 (平成 6 年度)

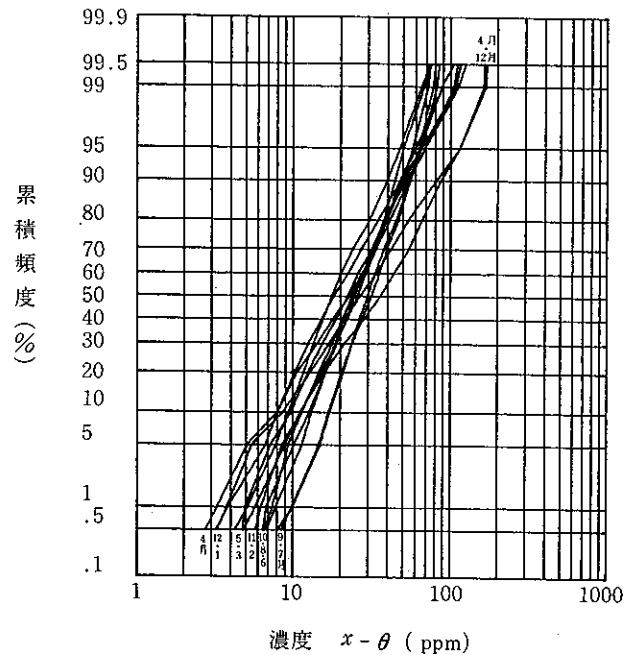


図 10 $x-\theta$ の対数正規確率プロット
環境研 (平成 6 年度)

① 能ヶ谷測定局の特徴

各月のPC図はほぼ直線上にあり、平行移動したような形となっている。11月、12月は他の月と比較してやや高濃度の部分が目立っている。他の地点と比べると高濃度、低濃度域で直線の勾配が大きく、PC図はS字型に近くなっている。この理由として濃度変化が小さいこと、排出されてからの時間がたっていること、あるいは規制の効果があったことなどが考えられる。

② 都庁測定局の特徴

月別のPC図はほとんど直線上に乗っている。また、1、2、3月は低濃度部分が目立っている。

③ 環境研測定局の特徴

月別のPC図はほとんど直線上に乗っている。また、4、12月は他の月と比べ勾配がゆるやかであり、高濃度、低濃度の割合が多いことが分かる。

次に、母数対数正規分布からパラメータを推定した。このうち、位置のパラメータ θ はバックグランド濃度に関係すると考えられることから、母数 θ の年変化を図11に示す。これをハワイ・マウナロアにおける地球規模のバックグランド濃度⁹⁾(月平均値)、夏期が約355ppm、冬期が約360ppmと比較すると、3測定局の値は夏期に約7ppm程低い冬期はほぼ同じである。この理由は、①夏期は大気の大気対流や光合成が盛んであるが、冬期は大気が安定していること。②時間値による算出であることから考えられる。

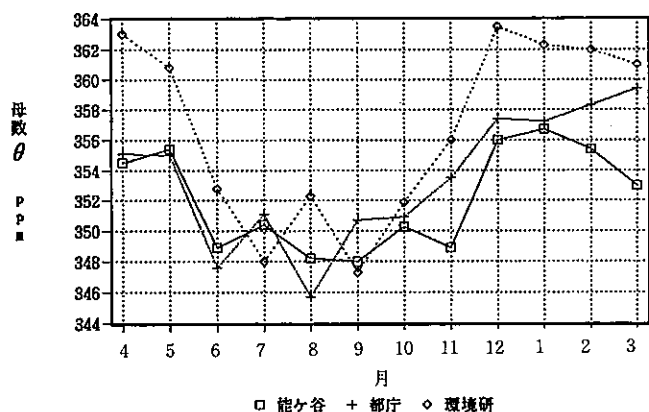


図11 母数 θ の年変化 (平成6年度)

3母数対数正規分布から求めた母数 θ は、地球規模のバックグランド濃度を推定することのできる一つの方法ではないかと思われるが、今後も継続的に分析を行っていく必要がある。

4 まとめ

3測定局のCO₂濃度は、①年平均値で昨年度より、3.5~4.3ppm増加した。経月変化では冬期に最高値を示し、夏期に最低値を示す傾向があった。また、日変化では能ヶ谷と環境研で夜間に最高値が現れ、日中に最低値を示したが、都庁では逆の傾向であった。②気象との関係では、都庁は年間を通して各風速において南風の時に濃度が高くなったが、能ヶ谷の7月及び12月では、西風の時に高くなった。③都庁舎北塔での高さの関係では、低層ほど濃度は高く、47階、25階及び1・2階平均値の各濃度差は約10ppmであった。④能ヶ谷において、広範囲で混合大気状況を形成すると考えられる風速3m/s以上時の値の平均濃度365ppm前後は、ほぼ都市大気のパックグランド濃度を示していると考えられる。⑤3測定局のデータ解析による統計的特徴として、CO₂濃度の時間値は3母数対数正規分布をすることがわかった。また、これによって求めた母数 θ は地球規模のバックグランド濃度を推定する一つの方法ではないかと思われる。

参考文献

- 1) 東京都：東京都地球温暖化防止対策地域推進計画 p. 2 ~ 8 (平成7年5月) .
- 2) 泉川碩雄ら：地球環境影響物質に関する調査研究、東京都環境科学研究所年報1994、 p.185~192.
- 3) 気象庁：地球温暖化監視レポート 1994 p.23~ 25 (1995) .
- 4) 環境保全局：平成5年度 大気汚染常時測定結果概要 P.13~97 (1995) .
- 5) THE JAPAN METEOROLOGICAL AGENCY IN COOPERATION WITH THE WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION : WMO WDCGC DATA REPORT. WDCGC No.5 p41,1994.
- 6) R.I.Larsen : A new mathematical model of air pollution concentration averaging time and frequency, Journal of the Air Pollution Control Association, 19 , 24~30(1969) .
- 7) Aitchison, J. and Brown, J.A.C., The Lognormal Distribution. (Cambridge University Press, London, 1957) .
- 8) 中村 晃ら：都市域における二酸化炭素の統計的性質、第35回大気汚染学会講演要旨集 1994年、 p.296.

- 9) C.D.Keeling、T.P.Whorf、M.Wahlen & J.van der Plicht : Interannual extremes in the rate of rise of atmospheric carbon dioxide since 1980. nature、**375** p.667、1995.