

都市における二酸化炭素の濃度特性

古明地 哲人 早福 正孝 末岡 伸一 泉川 碩雄
 吉岡 秀俊 秋山 薫 横田 久司 杉山 孝一*
 岩崎 好陽 (* 大気保全部)

要 旨

都内3地点で二酸化炭素の測定を実施した。人為の発生源の影響を示す大都市部の二酸化炭素濃度のトレンドは都内の準工業商業地域、商業地域、住宅地域共に調査期間の間、約2.4~2.5 ppmv/年の増加量を示した。この増加量は気象庁のバックグラウンド濃度(綾里)の増加量よりもやや高い傾向であった。また、都内三地点は気象庁バックグラウンドの二酸化炭素濃度と比較し、約20 ppmv高く、大都市部の高い二酸化炭素発生量の傾向を反映していると推定される。二酸化炭素濃度の季節変動は都内三地点とも冬期に高く、夏期に低いという植物の光合成による炭素濃度の季節変動特性を示した。

キーワード：二酸化炭素、温室効果ガス、都市、経年変化、季節変化

Characteristics of Carbon Dioxide Concentration in Urban Area.

Tetsuhito Komeiji, Msataka Soufuku, Shinichi Sueoka,
 Sekio Izumikawa, Hidetoshi Yoshioka, Kaoru Akiyama,
 Hisashi Yokota, Kouichi Sugiyama* and Yoshiharu Iwasaki

* Air Quality Protection Division

Summary

Monitoring of carbon dioxide concentration have been carried out at three sites in the Metropolitan area. Trends of the carbon dioxide concentration in the urban area, strongly affected by anthropogenic source, showed yearly increment of 2.4 - 2.5 ppmv at all sites such as subindustrial, urban and suburban area. The concentration increment in Tokyo are slightly higher than Ryori, where regional station of WMO is located and, yearly average carbon dioxide concentration at three sites in Tokyo is about 20 ppmv higher than Ryori. This higher concentration in Tokyo is supposed to be caused mainly by anthropogenic sources. Yearly variation of carbon dioxide concentration which are higher in winter and lower in summer indicate that the variation was caused by botanical photosynthesis.

keywords : carbon dioxide, greenhouse effect gas, urban area, yearly trend, seasonal variation

1 はじめに

地球温暖化にせめる二酸化炭素(CO₂)の寄与は大きく、産業革命以降人為的に排出された温室効果ガスによる地球温暖化への直接的寄与度で見ると、世界全体で63.7%と推定されている¹⁾。以下の寄与度の順位はメタ

ン(19.2%)、亜酸化窒素(5.7%)、CFC及びHCFC(10.2%)、その他(1.2%)であった。我が国の場合はCO₂の寄与は更に大きく、1993年単年度で見るとその寄与度は94.4%に達している²⁾。このことから、我が国の地球温暖化対策の主なる取り組みはCO₂の削減対策であると考

えられる。東京都では地球温暖化をはじめとする地球環境保全対策を都民とともに取り組むため、平成4年5月に「東京都地球環境保全行動計画」を策定した。特に、地球温暖化対策に重点を置き、平成7年5月には「東京都地球温暖化防止対策地域推進計画」を策定した。これらの計画により、都民一人当たりのCO₂の排出量を2000年以降、おおむね1990年レベルで安定化させることを目標として掲げた。この様な東京都の取り組みは、昨年12月に京都で開催された地球温暖化防止京都会議(COP3)での目標とほぼ合致するところとなっている³⁾。

これらの削減目標が都内のCO₂濃度にどのように反映されているかをフィールド調査のモニタリングから評価するために、1992年より都内3カ所でCO₂濃度の測定を実施してきた⁴⁾。本報告では地点特性、トレンドを中心に報告する。

2 調査方法

(1) 調査地点

ア 町田市能ヶ谷測定局：町田市能ヶ谷1512、地上1階（採取口：地上18m）、郊外住宅地域

イ 都庁地球環境測定局：新宿区西新宿2-8-1、地上47階（地上約230m、高所測定室）、商業地域

ウ 環境科学研究所局：江東区新砂1-7-5、地上6階（地上約33m）、準工業地域

(2) 調査期間

1992年1月～1998年3月

(3) 測定法

赤外線吸収法（島津製作所製）

標準ガス：高千穂商事、低濃度標準二酸化炭素（約335ppmv）、高濃度標準二酸化炭素（約480ppmv）

3 結果と考察

(1) 地点別トレンド（月平均値）

ア 都庁局

都庁局の測定結果のトレンドを月平均値を用いて図1に示す。図には実測値と実測値から種々のバイアスを除いて解析するための以下の式による推定式（回帰式）から求めた計算値とを同時に示した。この回帰式により、濃度変化のパターン、将来予測が可能となる。

$$\text{CO}_2\text{濃度推定値(ppmv)} = d + a X + b \sin X + c \cos X$$

a, b, c, d: 定数、X: 月数のラジアン

また、表1に回帰統計、分散分析結果を示した。本報告では推定法は他の報告^{5),6)}より単純化した方法によって行った。

表1 経年変化回帰式の統計値

	都庁	環研	能ヶ谷
切片	374	382	380.3
X1	0.212	0.208	0.716
X2	2.43	-0.775	-1.03
X3	0.667	8	5.19
n	63	60	62
R	0.712	0.813	0.76
R2	0.508	0.643	0.578

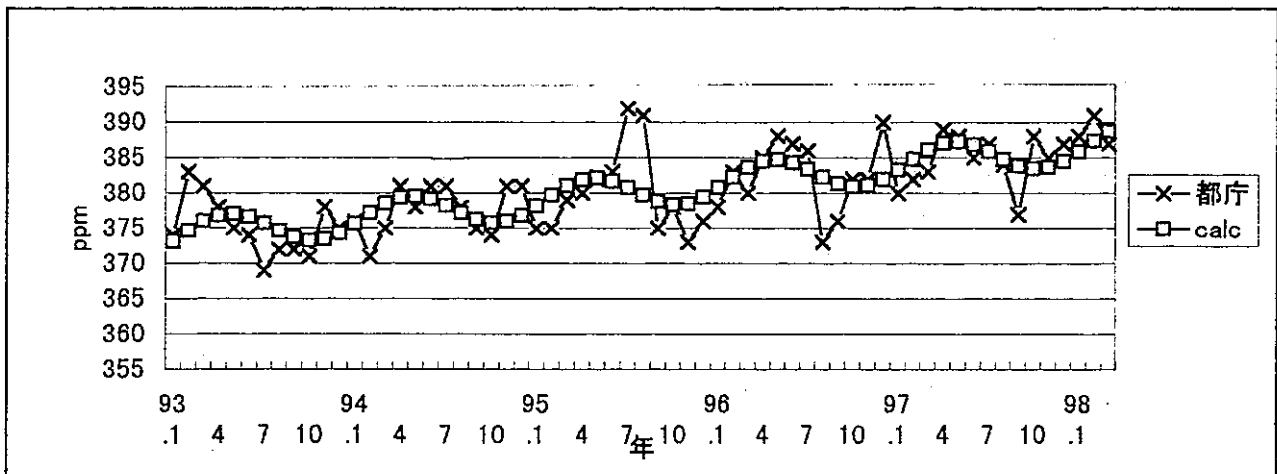


図1 CO₂濃度の経年変化（都庁）

図からCO₂濃度の季節変化をみると実測値では10~20ppmvの幅で変動した。計算値でみると約5ppmvで変動していた。気象庁綾里のCO₂濃度の平均的な季節変動幅は13ppmvであり2倍以上大きい傾向であった⁷⁾。

経年的なトレンドをみるとCO₂濃度は季節的な周期の変動を繰り返しながら徐々に増加していく傾向が明確に認められた。表1からCO₂濃度の年平均濃度増加をみると2.54ppmvであった。この増加率はマウナロアの1980~1994年の増加量2ppmv/年よりも大きい⁷⁾。同様に綾里の1987~1997年の増加量1.6ppmv/年と比較してもかなり大きい⁷⁾。

イ 環研局（環境科学研究所）

環研局の測定結果のトレンドを都庁局と同様に月平均値を用いて図2に示す。

また、表1に回帰統計、分散分析結果を示した。環研局の計算CO₂月平均濃度の変動は図1都庁局と比較すると実測値とよく一致している。また、環研局の実測月平均CO₂濃度の年変動幅は約20~30ppmvと都庁局に比較して1.5~2倍を示した。計算値では約16ppmvであり、都庁局の約3倍を示した。都庁局濃度の年度の変動幅が低いのは地上230mの高所にあるためCO₂の地上発生源からのフラックスの到達が遅れるためと考えられる。

表1からCO₂濃度の年平均濃度増加をみると2.50

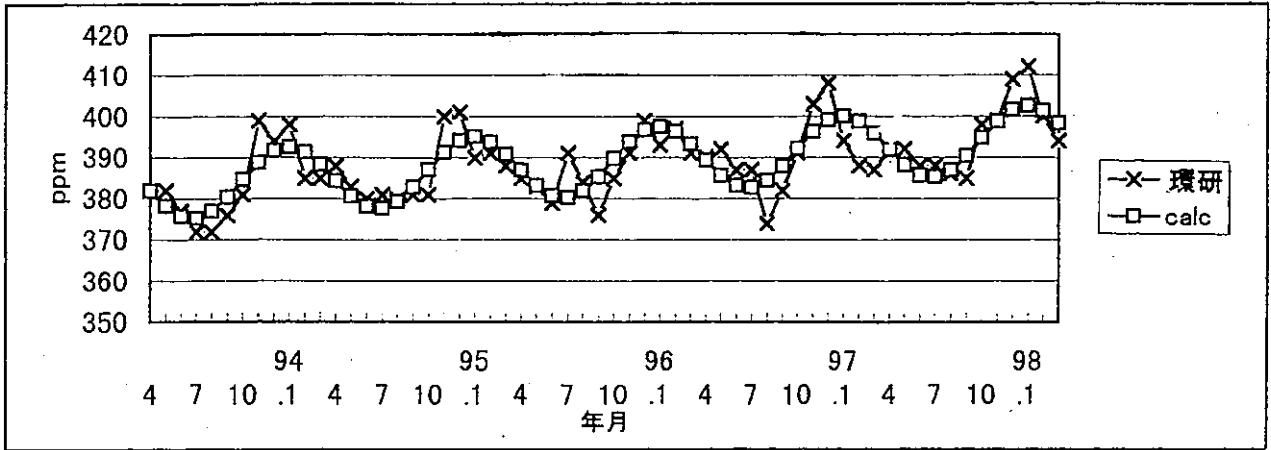


図2 CO₂濃度の経年変化（環研）

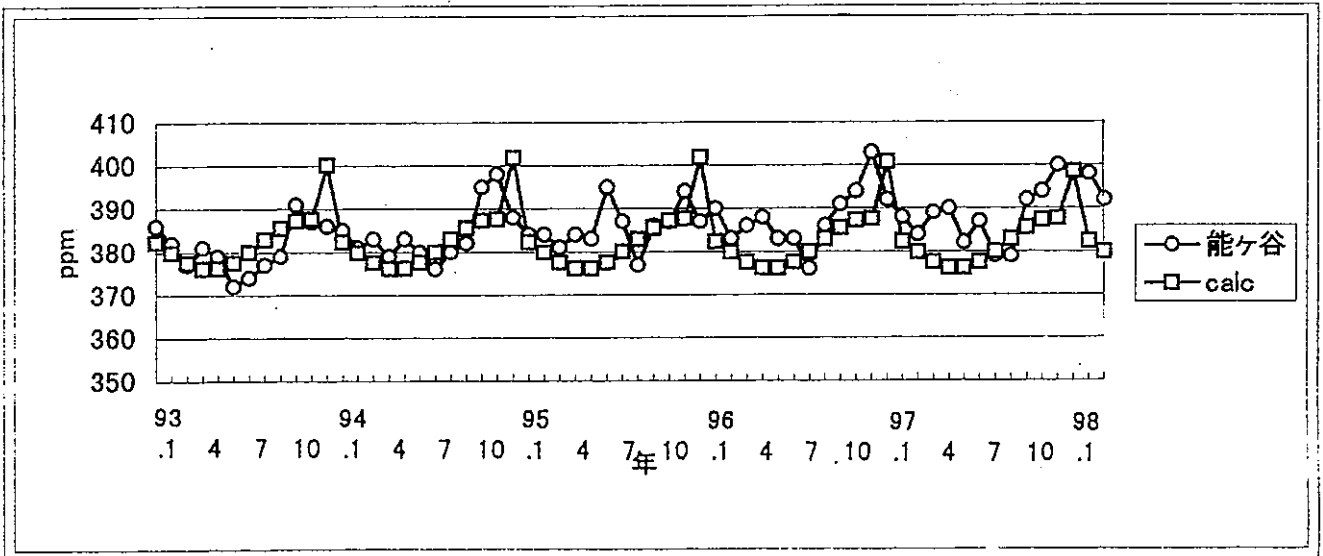


図3 CO₂濃度の経年変化（町田）

ppmvであった。この増加量は都庁局の増加量とよく一致しているが、マウナロアの1980~1994年の増加量 2 ppmv/年よりも大きい⁷⁾。同様に綾里の1987~1997年の増加量1.6ppmv/年と比較してもかなり大きい。

イ 能ヶ谷局

能ヶ谷局の測定結果のトレンドを上記2局と同様に月平均値を用いて図3に示す。

また、同様に表1に回帰統計、分散分析結果を示した。能ヶ谷局の計算CO₂月平均濃度の変動は図2環研局と比較するとより低い値を示している。また、能ヶ谷局の実測月平均CO₂濃度の年変動幅は約17~27ppmvを示した。計算値では約10.5ppmvであり、都庁局の2倍、環研局の約2/3倍であった。この比較から発生源の近傍でかつ発生量の多い環研局は発生源の影響をよく反映したデータと見ることができる。

表1からCO₂濃度の年平均濃度増加量をみると2.06 ppmv/年であった。この増加量は都庁局、環研局より小さく、マウナロアの1980~1994年の増加量2ppmv/年よりもやや大きい⁷⁾。同様に綾里の1987~1997年の増加量1.6ppmv/年と比較するとかなり大きい⁷⁾。

(2) 地点特性 (年間値)

ア 年平均値

東京都の3地点と世界気象機構(WMO)のバックグラウンド観測値の年平均値⁸⁾を図4に示す。

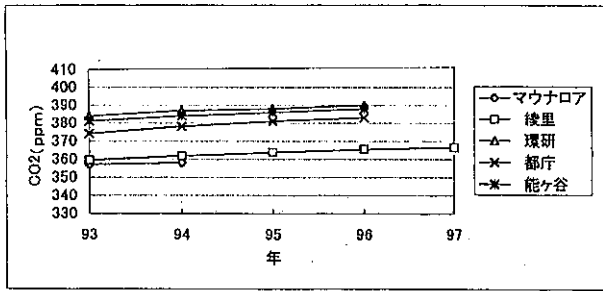


図4 CO₂年平均値の比較

東京都の観測値は年度平均値、WMO観測値は年平均値である。この間のCO₂年平均濃度の増加量は都庁、環研、能ヶ谷が2.54、2.50、2.06ppmv/年であったが、綾里は2.5、1.6ppmv (1987~1997年の増加量1.6 ppmv/年) とほとんど同レベルの傾向であった⁹⁾。トレンドとしては全地点とも増加を示した。大都市である東京都の観測値とバックグラウンドの綾里の年平均値の最

大濃度差は93~96年の各年について25ppmvと同レベルであった。また、つくばとバックグラウンドの綾里とは93、94年とも18ppmvであった。このように大都市、その近傍のつくばとの差は7、大都市、バックグラウンドとは25ppmvの差がみられた。これらの差はCO₂の発生量と関係があると考えられる。

イ 月平均値

図5~7に各地点の濃度特性の変動幅を見るために各年度の月平均値の最大値、最小値、及びその差を示した。図5から月平均値の最大値は環研が最も高く、次に能ヶ谷、都庁の順位であった。この順位は観測地点と主な近傍の発生源との距離との関係を示している。近傍の発生源強度が大きいと最大値は顕著に増加する傾向が認められる。図4の年平均値と比較すると年平均値では地点間の最大濃度差は10ppmv、図5月平均値の最大値では20 ppmvであった。

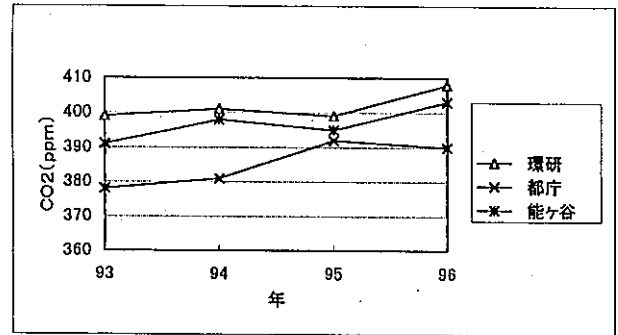


図5 CO₂月間値最高濃度

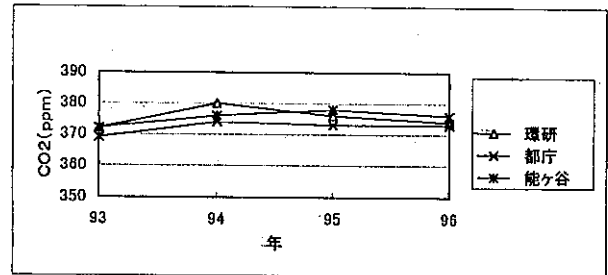


図6 CO₂月間値最低濃度

同様の比較を月平均値の最小値で行うと図6のようになる。全体的に地点間の濃度差は小さく、かつトレンドはほとんど横ばいで増加傾向は認められない。最低値の発現する気象条件は風速が強く、大気の混合がよく、この条件が最低濃度発現の大部分を説明するためと考えら

れる。綾里の年平均値との差は11~18ppmvであり、月平均値の約1/2であった。

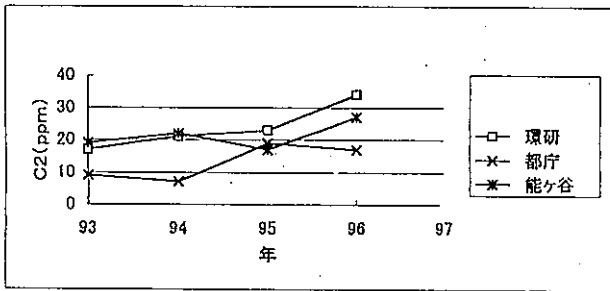


図7 CO₂月間値最大濃度差

図7に月平均値の年間の最大濃度差を地点別に示した。年間濃度幅の最も大きい地点は環研、次に能ヶ谷、都庁の順位であった。この地点間の差は近傍の発生源のフラクチュエーションの影響の強さを反映している。

ウ 日変化

CO₂濃度の季節別の日変化パターンを地点別に図8~10に示す。事例解析日の気象観測値を統計値と共に表2に示す^{10),11)}。事例解析日は晴天を基本にした。夏期の1996年7月19日は太平洋高気圧の圏内にあり、天気は晴、最高気温33.4℃、平均温度29.3℃、最低気温25.4℃、平均相対湿度71%、平均風速3m/s (S) であった。

冬期の1996年12月10日は東方の太平洋上の高気圧の圏内にあり、天気は晴、最高気温14.5℃、平均温度10.3℃、

最低気温6℃、平均相対湿度58%、平均風速2.1m/s (NNW) であった。

図8から都庁の夏期のCO₂濃度の日変化パターンは図中の近似曲線から午前9時頃と午後9時頃にピークが推定されるパターンであり、日中の濃度の低下は混合層高度の上昇と植物の光合成の吸収によると考えられる。

冬期のCO₂濃度の日変化パターンは図中の近似曲線から午後3時頃にピークが推定されるパターンであった。

この午後の濃度の上昇は都市の活動による下層大気中へのCO₂の供給によると推定される。

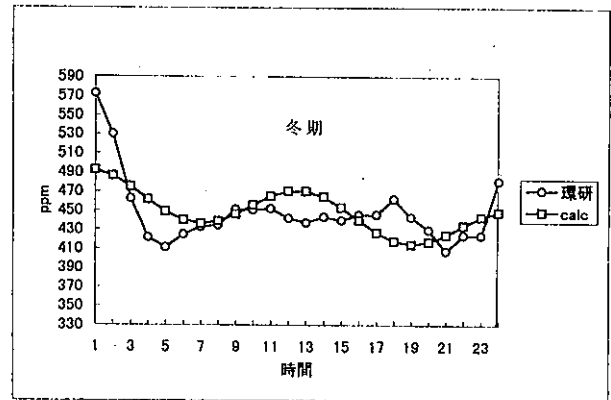
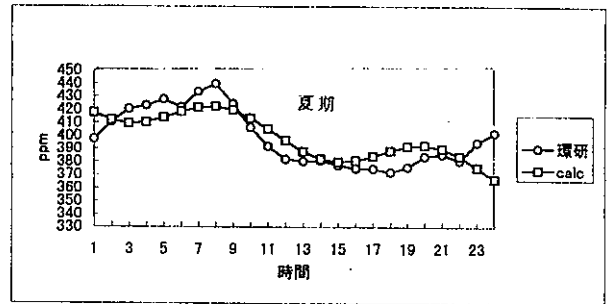


図9 CO₂濃度日変化(環研)

図9から環研の夏期のCO₂濃度の日変化パターンは図中の近似曲線から午前8時頃と午後9時頃にピークが推定されるパターンであり、日中の濃度の低下は混合層高度の上昇と植物の光合成の吸収によると考えられる。都庁と比較すると環研の午後のピークは午前より相対的に低く、測定点近傍の植物、気象の影響を強く受けていると考えられる。

冬期のCO₂濃度の日変化パターンは図中の近似曲線から日中と夜間にピークが認められるパターンであり、日中の排出量の増加、夜間の混合層高度の低下の影響を受けていると考えられる。

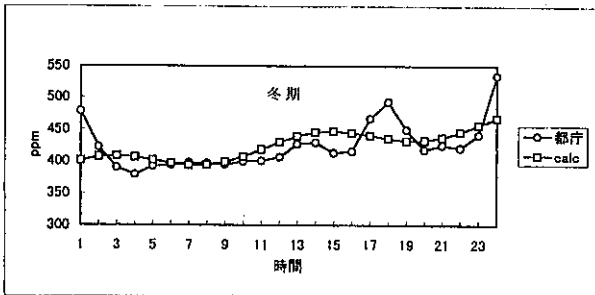
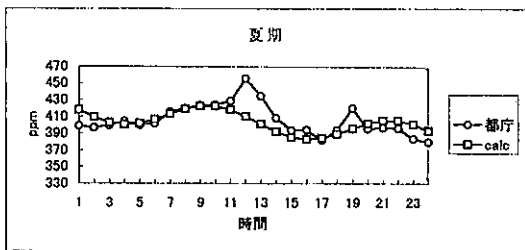


図8 CO₂濃度日変化(都庁)

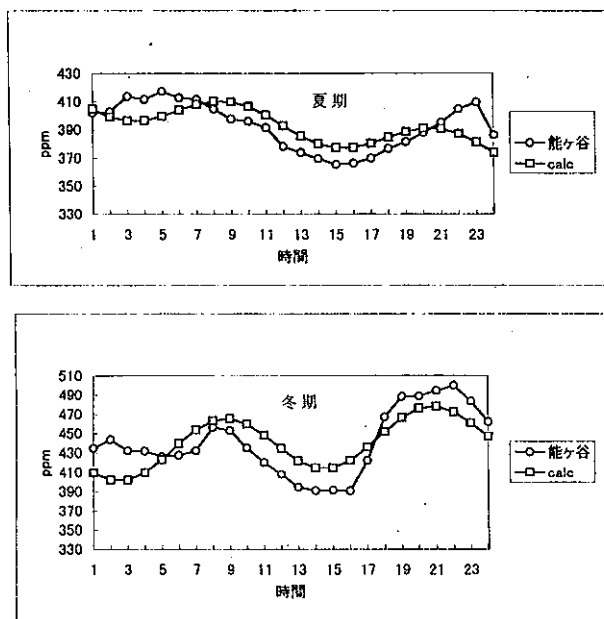


図10 CO₂濃度日変化(町田)

表2 日変化回帰式の統計値, CO₂濃度(ppmv)

	都庁	環研	能ヶ谷
1996年 切片	421	429.4	412.7
7月19日 X1	-1.25	-2.46	-1.58
X2	-10.5	-12.5	-11.5
X3	7.13	-3.61	-0.617
n	24	24	24
R	0.555	0.775	0.667
R ²	0.308	0.541	0.445
平均	405.9	399.4	393
最高	453.3	440.3	417.4
最低	379.8	372.7	365.5
気象条件	晴れ、夜曇り、気温 平均気温29.3°C		
大手町	湿度71%、平均風速3.0m		
1996年 切片	384.7	517.3	427.6
12月10日 X1	3.17	-1.826	1.05
X2	14.4	18.11	-28.6
X3	6.9	13.5	-5.63
n	24	24	24
R	0.589	0.589	0.728
R ²	0.346	0.347	0.529
平均	424.4	448.8	440.6
最高	534.9	572.8	500.1
最低	379	407.5	390.7
気象条件	晴れ、時々曇り 平均気温10.3°C		
大手町	湿度58%、平均風速2.1m		

図10から能ヶ谷の夏期のCO₂濃度の日変化パターンは環研と類似した傾向を示した。特に日中の低濃度傾向は他より大きく、周囲の植物の光合成の効果が大きいものと推定される。

冬期のCO₂濃度の日変化パターンは図中の近似曲線か

ら午前9時頃と夜間にピークが認められるパターンであり、朝の時間帯の排出量の増加、夜間の混合層高度の低下の影響を受けていると考えられる。

以上3地点の事例解析から、またこれまで5年間の調査結果から、都庁局(高所測定局)では地上の他の2調査地点と比較し、濃度変動が小さく、かつ年平均濃度も低く、近傍の地上発生源との関係が必ずしも明確ではないことが認められた。このため、都庁局の立地条件は都市の局地的なCO₂の地上発生源と大気中濃度との関係を解析するためには困難な面があると考えられる。

4 まとめ

都内3地点の二酸化炭素年平均値、月平均値のトレンド、地点特性は以下の通りである。

- (1) 月平均濃度の年周期は植物の光合成の効果により、夏期に低く、冬期に高い規則的な季節変化を示した。
- (2) 都内3地点の二酸化炭素の年平均値は1996年度で383-390ppmvであり、日本のバックグラウンドである綾里365.5ppmv(1996)と比較し約20ppmv高かった。
- (3) 年平均濃度は環研>能ヶ谷>都庁であった。
- (4) 都内3地点の二酸化炭素濃度のトレンドは年増加量2.1-2.5ppmv/年であり、綾里とほぼ同程度かやや高い傾向であった。
- (5) 大都市部の測定局においても、二酸化炭素測定値は人為の局地発生源、及び植物の影響を反映している傾向であった。

引用文献

- 1) IPCC: 気候変動に関する政府間パネル第二次評価報告書(1995)。
- 2) 環境庁: 環境白書(平成9年度版)(1997)。
- 3) 岩間徹: 京都議定書の概要と課題、ジュリスト、(1130), p.45-50(1998)。
- 4) 杉山ら: 地球環境物質に関する調査研究(第二報)、東京都環境科学研究所年報、p.267-274(1995)。
- 5) 井上ら: つくばにおける大気中の二酸化炭素濃度について、日本地球化学会年会講演要旨集、p.139(1993)。
- 6) Inoue *et al.*: Variation in Atmospheric CO₂ at the Meteorological Research Institute, Tsukuba, Japan, *J. of Atmospheric Chemistry*, **23**, p.137-

- 161(1996).
- 7) 気象庁：気候変動監視レポート, p.24(1997).
 - 8) World Meteorological Organization : WMO
WDCGG DATA REPORT, WGCCG No.11 (1996).
 - 9) 気象庁：大気バックグラウンド汚染観測年報（平成
6年）（1996）.
 - 10) 東京管区気象台：東京都気象月報, 7, 12(1996).
 - 11) 日本気象協会：気象、9(1996), 2(1997).