東京における大気中の CO_2 の地理分布と変動

新井 正*・高山茂美*・高村弘毅*・関根 清*

立石由巳**・小林 徹**・庄田正宏**

I はじめに

大気中の CO_2 の変化は、大気バックグラウンド汚染の良好な指標になると考えられ、地上での継続観測のほか航空機による上層の調査も実施され、その地理分布・年変化・増加の傾向などが明らかにされつつある (Bolin & Keeling, 1963; Keeling et al., 1968; Bolin & Bischof, 1970). 地球大気のマニターとしての CO_2 の観測は、Mauna Loa・Barrow 岬・南極などの、 CO_2 の発生源から離れた地点で行なわれている。このようなバックグラウンド値のための測定に対して、 CO_2 の人工的な発生源である工業地域内の観測は意外に少ない。

都市、特に工業地域内においては、 CO_2 は局地的に大きな値を示すはずである。また時間的にも、ここでは自然地域とは異なった変化を示すであろうと考えられる。この調査は、発生源内あるいはその付近における CO_2 の地理分布と時間的な変化を明らかにするために実施した。

II 測定方法

1. 分析計

ここで使用した分析計は、堀場製作所の ASSA-1 型赤外分析計である。この分析計は、元来は光合成測定用であり、その測定範囲は 0~600 ppm であったが、これを高濃度の場合にも使えるように、0~1000 ppm に改造した。測定に際しては、毎日 1 回、ゼロガス (CO_2 : 0 ppm) およびスパンガス (CO_2 : およそ 800 ppm) によって校正を行なった。分析計自体の精度はかなり高いが、室温の変化により若干の誤差が生ずる。また自記紙の誤差もあるので、測定精度は 3 ppm 程度であろうと考えられる。

2. 連続測定のためのサンプリング方式

連続測定のためのサンプリングは、地上約 15 m

の立正大学屋上において行なった。サンプリングおよび測定機構は、Fig. 1 に示してある。

まず、屋上の百葉箱内に採取口と沈澱ビンをおき、ここで塵を沈澱させる。ここからビニール管で実験室内に空気を吸引し、さらに室内で 2 次除塵を行なう。この沈澱ビンの容量は合計約 10 l あるために、測定値に若干のおくれが生じ平均化がなされる。 CO_2 と吸収域が重複する水蒸気を除去するためには、冷蔵庫を改造した除湿装置をおいた。庫内の除湿は 3 段階とし、まず比較的高温な部分で露として除湿し、次に冷凍室内で霜の形で除湿し、最後にアルミニウムのラセン管内でさらに霜として除湿する。このような除湿で、大気中の水蒸気がほとんど除去されることがわかった。さらにその後、分析計本体に付属している除塵フィルターと KCl の除湿

Fig. 1. Sampling and analyzer system

* 立正大学地理教室 ** 水温調査会

Fig. 2. Geographical distributions of CO₂ near Tokyo
 Days of observation: A) 1972.11.4, B) 1972.12.22, C) 1973.3.5.

器を通過させる。このようなサンプリング機構によって、水蒸気や塵はほとんど除去できると判断された。

立正大学は目黒川右岸の台地上にあり、付近には特に高い建物や特定の CO_2 発生源もないので、この測定は東京都南部の CO_2 の変化の状態をある程度代表するであろうと考えられる。

3. サンプリング・バッグ

多数地点の空気を取り出し分析するために、サンプリング・バッグによる移動観測方法も考案した。バッグは 5 l 入りのビニール袋であるが、これに空気を封入するためには、おもちゃ用の空気ポンプを利用した。ポンプの吸入口に長いビニール管をつけ、採取者の呼吸の影響が入らないように採取した。これを実験室に持ち帰り、できるだけ早く分析計にかけた。なお、この場合にはサンプルの容量が少ないために除塵・除湿の一部を省略し、Fig. 1 の B から直接分析計に空気を入れ分析した。

III 東京付近の CO_2 の地理分布

Fig. 2 の分布図は、前述のサンプリング・バッグにより空気を取り出し分析した結果をまとめたものである。採取に要した時間は 4 ないし 8 時間であり、この間の CO_2 の時間変化を考慮しなければならない場合が生ずる。そのために、サンプリングを実施している間は立正大学屋上で連続測定を行なったが、いずれも強風の日であったために CO_2 の時間変化は小さかった。

Fig. 2 (A) は、広い範囲で首都圏の CO_2 の影響をみるために実施した調査で、三宅・八丈島航路の船上で採取したものである。結果は、三宅島沖を基準とした CO_2 の増加量 (ΔCO_2) で示してあるが、大島以北で CO_2 は増加し、川崎沖では +73 ppm に達している。工業地域の CO_2 の影響は、アメリカ東岸の観測例からも判断されるように (Bischof & Bolin, 1966), かなり広い範囲に及ぶ。

Fig. 2 (B) (C) は、自動車を利用した移動観測の結果をまとめたものである。B は 1972 年 12 月 22 日に実施したもので、4 台の自動車を利用した。一般に CO_2 は 350 ppm 以上で、西部と東部が高濃度になっている。都内においても、自動車交通量の少ない地点では、350 ppm 以下である。また、沿岸部でも濃度は低くなっている。一部の交叉点では 700

ppm 以上の値が得られたが、図では省略してある。

上記の調査では、都心部と郊外との比較をすることは困難であった。すなわち、この調査結果は、(A) で示したようになかなか広い範囲にわたって CO_2 の高濃度地域が分布していることを裏付けたものであった。そのため 1973 年 3 月 5 日に、さらに広い範囲の移動観測を行なった。その結果が Fig. 2 (C) である。ここでは、フェリーを利用して東京湾の海上の値も測定したが、海上の値がこの調査地域内の最低値であった。江ノ島海岸や高尾山も人為の影響が少ない地点としてえらんだが、いずれも 350 ppm で低い値を示した。一般に沿岸部では濃度が低い。神奈川県内で濃度が高くなっているのは、道路および採取地点が谷底にあるためと考えられる。

以上の結果から、首都圏の CO_2 の影響は、数 10 km ないし 100 km にまで及んでいると考えられる。

Fig. 3. Diurnal variation of CO_2

また、CO₂の地理分布においては、局地性が極めて大きい。今後このような調査においては、サンプリング地点の検討がさらに必要である。

IV CO₂の時間的变化

1. 日変化

一般に陸地上のCO₂は、植物の光合成のために昼間は少なくなり夜間に多くなる。自然地域内の地表付近のCO₂の日変化は数10 ppm程度であるが(Bischof, 1960)、東京においては200 ppm以上におよび、300 ppmに近づくことさえもある。Fig. 3は、立正大学屋上におけるCO₂の日変化の例を示したものである。Fig. 3 (A)は、植物被覆が多い地域の日変化に近い変化を示す場合であるが、立正大学の周囲にはほとんど樹木がないので、この日変化の内容は植物によるものではないであろう。東京の土地利用や工業・都市活動を考えると、この日変化は人工的起源のCO₂と海風や大気の安定度の影響とが関与して生じたものであらうと判断される。

東京におけるCO₂の日変化は多くの場合不規則であり、また日変化の幅も大きい。特に冬を中心とする寒冷季に、それらの特徴がいちじるしく現われる。Fig. 3 (B) (C)がその例である。これらの図はいずれも毎時の値のみで画いてあるが、実際にはこのような日変化の上に、振幅5~10 ppmあるいはそ

れ以上の振幅を持つ微変動が加わっている。図に示したような高濃度の持続時間は多くの場合1~2時間であり、長い場合でも4~5時間程度である。このピークは風速1 m/s以下の場合に多く発生し、風速が2 m/sを越える場合はほとんど発生しない。

2. 季節変化

Fig. 4には、立正大学屋上におけるCO₂の季節変化を示した。都合により分析計の保守および較正ができなかった日は欠測としたので、観測日数はあまり多くない。図には月平均値を丸印で示し、月間の毎時の値から得られた最大値と最小値の幅をたて線で示してある。Fig. 3でも示したように、冬には変化の幅がいちじるしく大きくなり、最大値は660 ppmに達している。年変化の傾向としては極大が冬から春にかけて発生し、極小が夏に発生しており、北半球のいくつかの地点のCO₂の年変化型と類似している(Bischof, 1960)。

すでに示したように、冬にはいちじるしい高濃度が観測されることもあるが、最低濃度に関しては年変化はあまり大きくない。これは、冬の高濃度は無風のときにのみいちじるしく、強い季節風が吹きだすと直ちに解消するためである。

まだ年平均値、変動などをくわしく議論する段階ではないが、年平均値は350 ppm強であり、世界の標準値(約325 ppm)よりもはるかに大きい。

Fig. 4. Annual variation of CO₂
Vertical line: range of fluctuation, ○: monthly mean.

CO₂ の発生地である大都市内あるいはその近郊での CO₂ の挙動は、New York 市郊外で測定を行った Woodland らのものべているように (Woodland et al., 1973) 複雑な要素が多く、今後研究されねばならない点が多い。

V おわりに

ここでは東京付近における CO₂ の地理分布と、およそ2年間の変化について簡単に報告した。このような調査は、永年にわたって実施することが重要であろう。幸か不幸か、立正大学は都内でも大気汚染がいちじるしい地区にあるので、今後も測定を続け、都市気候の一部として CO₂ の挙動を解析したいと考えている。

本研究は昭和47年度科学研究費（試験研究，課題番号788015，代表者 新井 正）によって実施したものである。

（投稿 1975年2月15日）

（受理 1975年3月14日）

文 献

- Bischof, W. (1960): Periodical variations of the atmospheric CO₂-content in Scandinavia. *Tellus*, **12**, 216~226.
- Bischof, W. and Bolin, B. (1966): Space and time variations of the CO₂ content of the troposphere and lower stratosphere. *Tellus*, **18**, 155~159.
- Bolin, B. and Keeling, C. D. (1963): Large scale atmospheric mixing as deduced from the seasonal and meridional variations of carbon dioxide. *Jour. Geophys. Res.*, **68**, 3899~3920.
- Bolin, B. and Bischof, W. (1970): Variation of the carbon dioxide content of the atmosphere in the northern hemisphere. *Tellus*, **22**, 431~442.
- Keeling, C. D., Harris, T. B. and Wilkins, E. M. (1968): Concentration of atmospheric carbon dioxide at 500 and 700 millibars. *Jour. Geophys. Res.*, **73**, 4511~4528.
- Woodland, G. M., Houghton, R. A. and Temple, N. R. (1973): Atmospheric CO₂ at Brookhaven, Long Island, New York: patterns of variation up to 125 meters. *Jour. Geophys. Res.*, **78**, 932~940.

SPACE AND TIME VARIATIONS OF ATMOSPHERIC CO₂ IN TOKYO

Tadashi ARAI*, **Shigemi TAKAYAMA***, **Hiroki TAKAMURA***,
Kiyoshi SEKINE*, **Yoshimi TATEISHI****, **Toru KOBAYASHI****
and **Masahiro SHYODA****

Geographical distribution and time variation of atmospheric carbon-dioxide in and around Tokyo were investigated. The instrument used in this survey is an ASSA-1 infrared analyzer (0~1000 ppm, CO₂). The sampling and analyzing systems are illustrated in Fig. 1. Special attentions are taken to eliminate dust and water vapor in the atmosphere by use of a precipitation bottle and a hand-made condenser.

Geographical distributions of CO₂ are shown in Fig. 2. Fig. 2-A shows the change of CO₂ off coast of Tokyo, and Figs. 2-B and C are the distributions in and around Tokyo. The influence of CO₂ originated from Tokyo and its vicinity extends more than 100 km.

Several examples of the diurnal variation of CO₂ at Rissyo University (Shinagawa-ku, Tokyo) are shown in Fig. 3. Daily maximum concentration of CO₂ usually exceeds 500 ppm and sometimes it reaches about 660 ppm. These extreme values are observed under a calm and inversion condition, particularly in the colder seasons.

In Fig. 4, the seasonal variation of CO₂ at Rissyo University, both monthly mean value (circle) and monthly range, is illustrated. The concentration reaches its minimum in summer when combustion of fuel is less than other seasons and photosynthesis of plant is more active. The maximum value is observed in winter, and the extreme maximum is observed under a calm and inversion condition. The winter minimum does not differ largely from that in summer, because strong winter monsoon eliminates high concentration. The annual mean value during 1972~1973 is about 350 ppm, which exceeds the world average by 25 ppm.