

揮発性有害大気汚染物質の年平均値推定のための 試料採取頻度の検討

星 純也 石井 康一郎

要 旨

都内大気中の揮発性有害大気汚染物質の年平均濃度をより正確に把握するための試料採取頻度について検討を行った。まず、平成10年、11年の毎月1回の有害大気汚染物質モニタリングの結果を用いて、大気中濃度の変動のうち、測定地点間の変動と測定月間の変動の比較を分散分析を用いて行った。その結果、測定したほとんどの物質では測定月間の変動の方が大きい結果となり、都内大気中の揮発性有害大気汚染物質のより平均的な濃度を把握するためには、測定地点より測定頻度を増やすことが有効と考えられた。

この結果を受けて、平成12年度に有害大気汚染物質モニタリング事業の合間の日程でモニタリングの補完調査を毎月一回、4地点で行い、モニタリング事業のみの年平均値（年12試料）とモニタリング事業と補完調査を合わせた年平均値（年24試料）との比較を行った。その結果、両者の年平均値の差はベンゼンでは7.7%と小さい値となったが、テトラクロロエチレンでは26%となり、物質によって異なることが明らかになった。年12試料の変動と24試料の変動ではそれほど大きな違いではなく、統計的に予想される結果とは逆に、今回の調査結果では24試料の場合の方が変動が大きくなる物質が多くかった。

キーワード：有害大気汚染物質モニタリング、補完調査、年平均値、試料採取頻度

1はじめに

平成8年5月の大気汚染防止法の改正により有害大気汚染物質対策が盛り込まれ、推進されてきた。その一環として平成9年度から有害大気汚染物質のモニタリングが開始された。このモニタリングは大気中に低濃度に存在する有害大気汚染物質の長期暴露による健康リスク評価を目的としており、そのためには年平均濃度の正確な把握が不可欠である。年平均濃度把握のためのモニタリングの頻度については中央環境審議会大気部会モニタリング専門委員会において「月1回、各1日（24時間）」の頻度で行なうことが適当であると報告¹⁾されており、現在、多くの自治体において毎月1回24時間測定での測定データが蓄積され、それらの解析が行なわれている^{2)~7)}。

東京都においても平成9年9月のモニタリング開始から測定地点数を徐々に増やしながら、都内における

有害大気汚染物質の年平均値の把握に努めてきた^{8)~11)}。しかし、現在のモニタリング体制が都内の有害大気汚染物質の年平均濃度をどの程度反映しているかの評価は十分になされてきてはいない。

大気汚染物質の年平均濃度を把握するための測定頻度に関する研究は、NO₂等の常時監視測定項目については常時監視データを用いての検討が行なわれている¹²⁾¹³⁾。また、有害大気汚染物質の長期間測定とその間の変動についてはいくつかの研究が行なわれているが^{14)~18)}、年平均濃度と測定頻度の関係について解析している例は見当たらない。

本研究では、まず、これまでのモニタリングデータの解析から、都内の代表的な地点で有害大気汚染物質の年平均濃度をより正確に把握するために必要な情報を明らかにした。そして、その結果を踏まえ、現在の有害大気汚染物質モニタリングを補完する調査を行な

い、現行のモニタリング体制でモニタリングを行なった場合と補完調査を加味した場合とで得られた年平均濃度の差異について検討し、年平均濃度を把握するためのモニタリング体制についての検討を行なったので報告する。

2 有害大気汚染物質モニタリング結果の解析

平成10年度、11年度に大気保全部大気監視課で行った有害大気汚染物質モニタリング事業の測定結果を用いて、都内で測定されている有害大気汚染物質の濃度変動の要因について検討した。測定された各物質の1年間のデータを用いて、その物質の濃度変動の因子として測定地点による違い（測定地点間の変動）と測定月による違い（月間の変動）の比較を行った。用いたデータと解析方法を以下に示した。

(1) 解析データ

解析に用いたデータは大気保全部大気監視課が測定し、公表したデータであり、平成10年度は都内11地点、平成11年度は15地点で毎月一回測定したデータを用いた。測定地点を表1に示した。測定日時、測定方法、気象条件等は大気監視課の報告書^{9),10)}を参照されたい。

(2) 分散分析結果

測定地点間の変動と月間の変動の比較には分散分析の手法を用いた。平成10年度、11年度各々の年度について、因子Aを測定地点、因子Bを測定月とし、測定地点A_i、測定月B_jのデータをχ_{ij}、測定地点A_k、測定月B_lのデータをχ_{kl}とすると、総変動S_Tは

$$S_T = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^l (\chi_{ij} - \bar{\bar{\chi}})^2$$

となる。また、測定地点、測定月の因子間変動は

$$S_A = \sum_{i=1}^k l (\bar{\chi}_i - \bar{\bar{\chi}})^2$$

$$S_B = \sum_{j=1}^l k (\bar{\chi}_{\cdot j} - \bar{\bar{\chi}})^2$$

となり、残差変動S_Eは

$$S_E = S_T - S_A - S_B$$

表される。次に各々の自由度φは、

$$\text{総変動の自由度: } \phi_T = k \cdot l - 1$$

$$\text{因子A(測定地点)の自由度: } \phi_A = k - 1$$

$$\text{因子B(測定月)の自由度: } \phi_B = l - 1$$

$$\text{残差変動の自由度: } \phi_E = \phi_T - \phi_A - \phi_B$$

$$= (k-1)(l-1) = \phi_A \times \phi_B$$

と表され、各要因の分散Vは

$$\text{要因Aの分散: } V_A = S_A / \phi_A$$

$$\text{要因Bの分散: } V_B = S_B / \phi_B$$

$$\text{残差の分散: } V_E = S_E / \phi_E$$

となる。

平成10年度、11年度の有害大気汚染物質モニタリング調査^{9),10)}の結果を用いて、各測定物質について測定地点間、測定月間および残差の分散を求め、表2に示した。表の各分散を比較すると、平成10年度の1,3-ブタジエン、トリクロロエチレン、11年度の1,1-ジクロロエタン、四塩化炭素を除くすべての物質で測定月間の分散が測定地点間の分散および残差の分散に比べ大きくなっている。

この結果から、本研究では地点間の濃度差よりも測定月間の濃度差に焦点を絞り、都内全域で概略的に有害大気汚染物質の年平均値を把握するために、平成12年度に次章で述べるような補完調査を行った。

表1 調査地点

測定地点	所在地	種別	平成10年度 有害大気汚染物質 モニタリング事業	平成11年度 有害大気汚染物質 モニタリング事業	平成12年度 有害大気汚染物質 モニタリング事業	平成12年度 補完調査
港	港区白金2-4-4	一般大気環境測定期局	○	○	○	
国設東京	新宿区内藤町11	一般大気環境測定期局	○	○	○	
大田	大田区東糀谷1-21-15	一般大気環境測定期局	○	○	○	
世田谷	世田谷区世田谷4-21-27	一般大気環境測定期局	○	○	○	
板橋	板橋区氷川町12-10	一般大気環境測定期局	○	○	○	
練馬	練馬区石神井台1-16-31	一般大気環境測定期局	○	○	○	○
足立	足立区西新井5-21-3	一般大気環境測定期局	○	○	○	
江戸川	江戸川区春江町5-3-3	一般大気環境測定期局	○	○	○	○
八王子市片倉	八王子市片倉町553	一般大気環境測定期局	○	○	○	
八王子市西寺方	八王子市西寺町76	一般大気環境測定期局	○	○	○	
八王子市元八王子	八王子市大楽寺町419-1	一般大気環境測定期局	○	○	○	
小金井	小金井市本町6-6-3	一般大気環境測定期局	○	○	○	○
東大和	東大和市奈良橋4-573	一般大気環境測定期局	○	○	○	
亀戸	江東区亀戸7-42	自動車排出ガス測定期局	○	○	○	○
八幡山	世田谷区柏谷2-19	自動車排出ガス測定期局	○	○	○	
檜原	西多摩郡檜原村小沢3739-1	一般大気環境測定期局	○	○	○	

3 有害大気汚染物質モニタリング補完調査

前述したように、平成10～11年度のモニタリング事業の測定値を分散分析した結果、都内全体での暴露評価の基礎となる年平均濃度をより正確に把握するためには、分散の大きな経時変化（測定月間の変動）について、より詳細なデータを収集する必要があることが予想された。そこで、平成12年度に大気監視課から引き継いで環境改善部有害化学物質対策課が行った有害大気汚染物質モニタリング事業（以下、モニタリング事業とする）に合わせ、以下のようなモニタリング補完調査（以下、補完調査とする）を行い、測定回数と年平均濃度の推定精度との関係について検討を行った。

(1) 調査方法

ア 調査地点

補完調査の調査地点はモニタリング事業で平成12年度の調査地点として設定されている15地点のうち、①分散分析の結果、月間の分散が大きい、②地域的なバランスが取れている。③一般環境大気測定局（一般局）と自動車排出ガス測定局（自排局）両方を含む、等の条件を考慮して表1に示した4つの測定局を選定した。

イ 調査日程

前述したように補完調査は有害化学物質対策課が行なったモニタリング事業の合間の日程で、月一回の頻度で測定を行なった。小金井、板橋、江東については平成12年4月から平成13年3月までの期間に計12回の調査を行い、江戸川については平成12年6月から平成13年3月までの期間に計10回の調査を行った。調査日程を表3に示した。また、この期間のモニタリング事業の調査日程も表3に同時に示した。

ウ 測定方法

測定対象とした19物質のうちアルデヒド類を除く17物質は6Lのステンレス製容器（キャニスター：Restek社製 Silico Can）を用いて24時間採取を行い、実験室へ持ち帰った後、ガスクロマトグラフ質量分析計(GC/MS)に導入して定量を行なった。ホルムアルデヒド、アセトアルデヒドは2,4-ジニトロフェニルヒドラジンを含浸させたカートリッジ(Waters製Sep-Pak DNPH-Silica)を用いて24時間採取を行い、試料を採取したカートリッジを実験室に持ち帰り、高速液体クロマトグラフ(HPLC)を用いて分析した。

一連の測定操作は基本的には環境庁の有害大気汚染物質測定マニュアル¹⁹⁾に従い、詳細は既報²⁰⁾で示した条

件と同様である。

表2 有害大気汚染物質モニタリング結果の分散分析

(平成10年度)

	測定地点間の分散	測定月間の分散	残差の分散
塩化ビニルモノマー	0.10	0.42	0.022
1,3-ブタジエン	0.63	0.32	0.081
アクリロニトリル	0.91	1.7	0.29
ジクロロメタン	31	190	7.6
クロロホルム	0.78	1.4	0.39
1,2-ジクロロエタン	0.067	0.21	0.030
ベンゼン	20	45	2.7
トリクロロエチレン	110	110	12
テトラクロロエチレン	13	31	1.7
ホルムアルデヒド	18	29	1.8
アセトアルデヒド	2.8	31	1.4

(平成11年度)

	測定地点間の分散	測定月間の分散	残差の分散
塩化ビニルモノマー	0.020	0.13	0.0093
1,3-ブタジエン	0.38	0.53	0.094
アクリロニトリル	0.018	0.11	0.011
ジクロロメタン	86	160	47
クロロホルム	0.080	0.41	0.041
1,2-ジクロロエタン	0.063	0.16	0.019
ベンゼン	7.0	17	0.86
トリクロロエチレン	26	42	4.1
テトラクロロエチレン	2.2	13	0.81
1,1-ジクロロエタン	0.075	0.0052	0.0016
四塩化炭素	0.16	0.13	0.015
トルエン	470	5300	300
エチルベンゼン	24	120	24
m+p-キシレン	29	180	21
o-キシレン	3.4	29	2.4
スチレン	2.0	5.0	1.4
ホルムアルデヒド	5.5	16	1.4
アセトアルデヒド	1.0	9.9	1.1

イタリック体は測定地点間の分散の方が大きい物質

表3 調査日程

日時	調査の種類
平成12年4月13日(木)～14日(金)	補完調査
平成12年4月25日(火)～26日(水)	モニタリング事業
平成12年5月16日(火)～17日(水)	モニタリング事業
平成12年5月30日(火)～31日(水)	補完調査
平成12年6月14日(水)～15日(木)	モニタリング事業
平成12年6月27日(火)～28日(水)	補完調査
平成12年7月12日(水)～13日(木)	モニタリング事業
平成12年7月27日(木)～28日(金)	補完調査
平成12年8月10日(木)～11日(金)	補完調査
平成12年8月23日(水)～24日(木)	モニタリング事業
平成12年9月5日(火)～6日(水)	補完調査
平成12年9月13日(水)～14日(木)	モニタリング事業
平成12年10月3日(火)～4日(水)	補完調査
平成12年10月17日(火)～18日(水)	モニタリング事業
平成12年11月6日(月)～7日(火)	補完調査
平成12年11月16日(木)～17日(金)	モニタリング事業
平成12年12月14日(木)～15日(金)	モニタリング事業
平成12年12月21日(木)～22日(金)	補完調査
平成13年1月14日(日)～15日(月)	補完調査
平成13年1月18日(木)～19日(金)	モニタリング事業
平成13年2月3日(土)～4日(日)	補完調査
平成13年2月14日(水)～15日(木)	モニタリング事業
平成13年3月13日(火)～14日(水)	モニタリング事業
平成13年3月30日(金)～31日(土)	補完調査

表4 モニタリング事業とモニタリング事業+補完調査の年平均値、標準偏差

		小金井		板橋		江東(亀戸自排)		江戸川	
		平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差
塩化ビニルモノマー	①	<0.05		0.08	0.07	0.23	0.35	0.09	0.08
	②	<0.05		0.06	0.06	0.21	0.28	0.09	0.10
1,3-ブタジエン	①	0.29	0.18	0.33	0.22	0.41	0.19	0.27	0.21
	②	0.31	0.20	0.38	0.27	0.51	0.30	0.32	0.26
アクリロニトリル	①	0.08	0.04	0.12	0.10	0.14	0.14	0.09	0.06
	②	0.10	0.06	0.14	0.10	0.19	0.15	0.11	0.09
ジクロロメタン	①	5.3	6.4	8.8	5.9	5.0	4.2	4.4	4.3
	②	4.5	4.8	7.2	5.0	4.3	3.3	3.8	3.7
1,1-ジクロロエタン	①	<0.09		<0.09		<0.09		<0.09	
	②	<0.09		<0.09		<0.09		<0.09	
クロロホルム	①	0.26	0.13	0.57	0.59	0.34	0.15	0.31	0.17
	②	0.22	0.12	0.41	0.45	0.26	0.14	0.25	0.16
1,2-ジクロロエタン	①	0.26	0.58	1.4	4.3	0.34	0.44	0.23	0.30
	②	0.17	0.41	0.74	3.0	0.37	0.51	0.31	0.54
ベンゼン	①	2.1	0.91	3.0	1.3	3.0	0.98	2.3	1.2
	②	2.0	0.80	2.5	1.2	2.8	0.94	2.2	1.0
四塩化炭素	①	0.69	0.08	1.9	2.5	0.74	0.11	0.74	0.12
	②	0.67	0.10	1.3	1.9	0.72	0.13	0.74	0.11
トリクロロエチレン	①	1.8	1.0	6.9	5.4	5.6	5.6	3.7	4.6
	②	1.7	1.5	5.7	4.9	4.4	4.7	2.8	3.7
トルエン	①	22	9.0	72	69	26	19	22	16
	②	20	10	52	53	26	18	19	14
テトラクロロエチレン	①	1.1	0.41	2.6	2.8	1.4	1.1	4.5	9.1
	②	0.98	0.62	2.0	2.1	1.2	0.90	2.7	6.9
エチルベンゼン	①	4.1	2.2	6.0	3.6	7.3	6.5	4.2	4.3
	②	3.6	2.2	4.7	3.3	5.4	5.1	3.4	3.5
m+p-キシレン	①	4.6	2.9	7.2	5.9	6.4	4.8	4.5	4.9
	②	4.2	2.7	5.6	4.8	5.6	4.0	4.0	3.9
スチレン	①	0.6	0.3	1.0	0.6	0.75	0.47	0.59	0.46
	②	0.4	0.6	0.6	0.6	0.53	0.42	0.44	0.40
o-キシレン	①	1.8	1.1	2.8	2.2	2.5	1.6	2.6	3.2
	②	1.6	1.0	2.1	1.8	2.1	1.4	2.0	2.5
ホルムアルデヒド	①	6.6	4.3	3.5	1.6	9.3	9.5	5.5	3.4
	②	5.1	3.7	3.8	1.9	6.4	7.3	4.2	3.0
アセトアルデヒド	①	4.7	2.1	4.8	2.5	7.7	9.0	10.8	11.3
	②	3.7	2.3	3.8	2.2	5.1	6.8	7.3	9.6

(1) モニタリング事業

(2) モニタリング事業+補完調査

($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

(2) 調査結果

ア 測定値の比較

平成12年度のモニタリング事業の物質別の平均濃度¹¹⁾(12回測定の平均値)とモニタリング事業+補完調査(24回測定の平均値)を表4に示した。平均値の算出の際に定量下限以下の測定値は定量下限の半分の値を代入し算出している。モニタリング事業と補完調査の定量下限が異なる場合は定量下限の高い方の値で統一して計算を行った。また、平均値が定量下限以下の物質およびすべての値が定量下限以下の物質については数値化せず設定した定量下限以下という表記にした。

表5にはモニタリング事業とモニタリング事業+補完調査の平均値の差(%)を示した。差の計算は

$$(C_m - C_h) / ((C_m + C_h) / 2) \times 100 (\%)$$

C_m: モニタリング事業の年平均値

C_h: モニタリング事業+補完調査の年平均値

を行い、その値を絶対値で表示した。表中の太字は絶

対値で30%以上の相違があった地点・物質であり、イタリックで示した数値は10%未満の相違の地点・物質である。表5で示したようにモニタリング事業とモニタリング事業に補完調査を加味した平均値の相違は、全体の平均では21%となったが、個々の値では物質、地点によって大きく異なる結果となった。

有害大気汚染物質の測定は環境庁の測定マニュアル¹⁹⁾では二重測定の誤差を30%以内としており、基本的には測定精度は最大でも±30%以内に保たれていると考えられる。そのため、表5に太字で示した地点・物質は平均値の差異が測定精度の誤差を超えたものであることが予想され、年12回と24回測定では表しうる年平均値が異なることが考えられる。

測定値の差異を地点別にみると、小金井が一番差異が少なく、板橋が大きくなっている。しかし、差異の平均は16~26%であり、測定地点によってそれほど大きな差は生じていない。

表5 モニタリング事業（12回測定）とモニタリング事業＋補完調査（24回測定）の測定値の差（%）

	小金井	板橋	江東 (亀戸自排)	江戸川	平均 (物質別)
塩化ビニルモノマー		20	8.5	0.3	9.6
1,3-ブダジエン	6.2	13	21	16	14
アクリロニトリル	22	15	27	28	23
ジクロロエタン	16	20	14	15	17
1,1-ジクロロエタン					
クロロホルム	18	32	26	22	24
1,2-ジクロロエタン	42	60	7.8	29	35
ベンゼン	4.7	18	4.9	3.6	7.7
四塩化炭素	2.5	38	2.7	0.2	11
トリクロロエチレン	6.2	19	23	26	19
トルエン	12	32	2.8	15	15
テトラクロロエチレン	7.6	28	19	51	26
エチルベンゼン	11	24	29	20	21
m+p-キシレン	8.3	24	14	12	15
スチレン	34	45	34	29	35
o-キシレン	13	28	17	28	21
ホルムアルデヒド	25	7.0	37	27	24
アセトアルデヒド	24	23	41	39	32
平均(地点別)	16	26	19	21	
全平均				21	

太字: 両者の差が30%以上
イタリック: 両者の差が10%未満

一方、物質別では平均で7.7～35%までの幅があり、物質によって年12回平均値と24回平均値の差が異なっている。このうち環境基準値が設定された4物質では、

ジクロロメタン17%、ベンゼン7.7%、トリクロロエチレン17%、テトラクロロエチレン26%となっている。特に、環境基準の達成状況が悪いベンゼンは、モニタリング事業とそれに補完調査を加味した値との差が7.7%と小さく、現状の年12回のモニタリングでも年平均値が十分に評価されうることが示唆された。

イ 変動係数

図1に物質別にモニタリング事業、モニタリング事業＋補完調査の年間の測定値の変動係数を示した。ここで、変動係数は標準偏差を平均値で除して求めた。全体として両者の変動係数はそれほど大きな差異は認められなかった。また、平均値の差の大きさと変動係数の差の大きさに特に関連は見出せなかった。

測定値が完全にランダムに変動する場合は、標準偏差は試料数の平方根に反比例するため、モニタリング事業＋補完調査のほうが変動係数は小さくなることが予想される。しかし、本調査では試料数が多いモニタリ

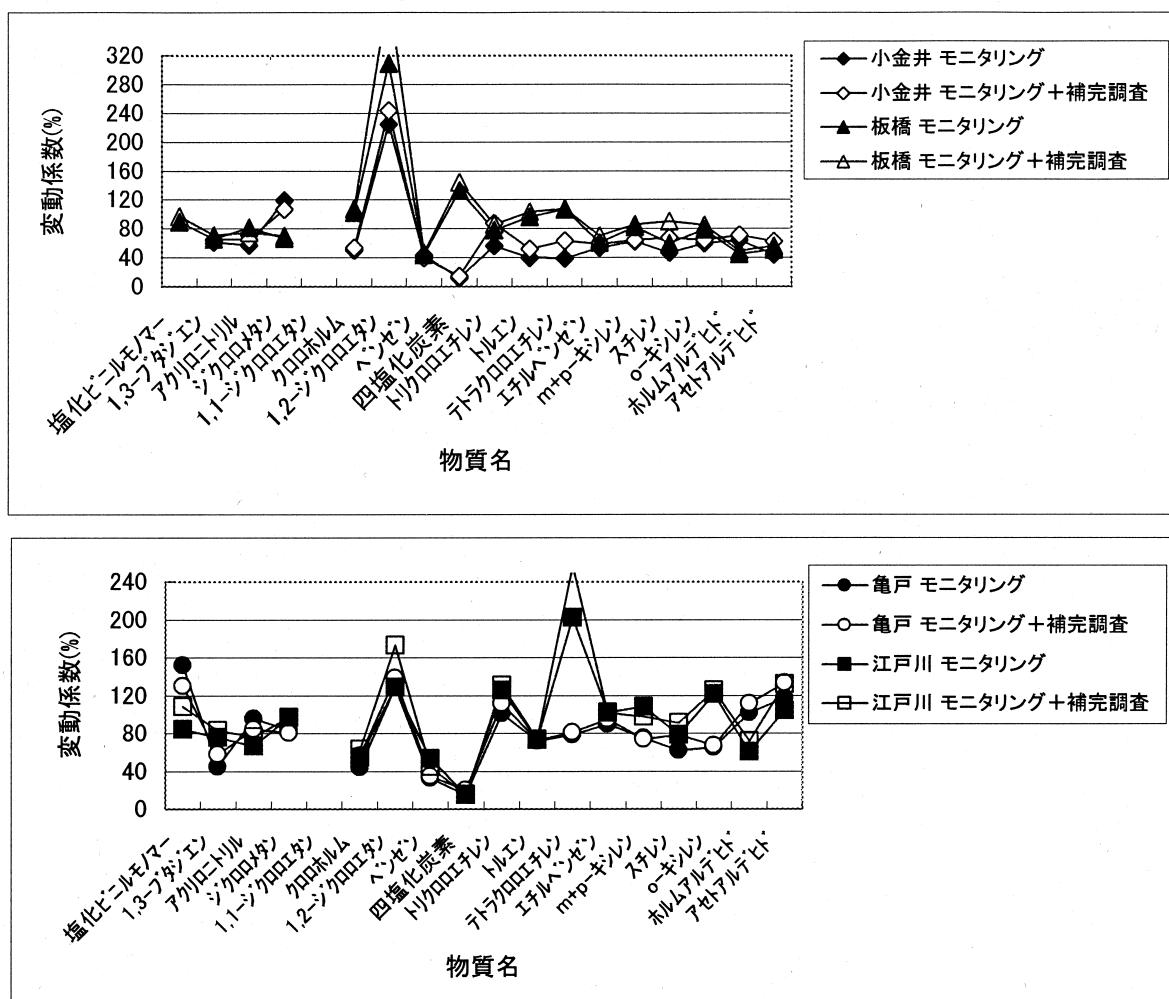


図1 モニタリング事業およびモニタリング事業＋補完調査の変動係数

ング事業+補完調査の方が変動係数が大きくなる場合が多く見られ、平均で8%程度モニタリング事業+補完調査の方が変動が大きくなつた。実際の大気中濃度の変動はランダムな変動の他に年間の季節変動や週間の曜日変動などの要素が加わることから、試料数の増加とともに変動係数が小さくならなかつたものと考えられる。

4 今後の課題

今回の調査から、都内での有害大気汚染物質の変動幅は測定地点間の変動よりも測定月間の変動の方が大きいこと、測定頻度を2倍にした場合に、得られる年平均値の相違は物質によって異なることが明らかになつた。しかし、年間の測定値の変動係数は統計的に予想される結果と異なり、試料数が大きい方が変動が大きくなる物質が多く見られた。今後、各々の物質についてより正確な年平均値を把握するための必要試料数を議論するためには、複数年にわたるモニタリングデータや連続測定データなどから大気中濃度変化の年変動パターンを把握し、系統的な変動パターンとランダムな変動部分とを別々に抽出し解析する必要があろう。

引用文献

- 1) 中央環境審議会：中央環境審議会大気部会専門委員会報告, pp69-79 (1996)
- 2) 田子博ら：群馬県における有害大気汚染物質調査(I)
—調査の概要とVOCの測定について-, 群馬県衛生環境研究所年報, 第31号, pp108-114 (1999)
- 3) 前田裕行：都市大気中のベンゼン等芳香族炭化水素濃度の挙動, 横浜市環境科学研究所報, 第22号, pp 4-6 (1998)
- 4) 水谷博和ら：大気中有機化学物質実態調査, 三重県環境科学センター研究報告, 第19号, pp51-69(1999)
- 5) 和田佳久, 斎藤勝美：秋田県における大気環境中の揮発性有機化合物(9化合物)のモニタリング濃度レベルとその評価, 秋田県環境技術センタ一年報, 第26号, pp49-54 (1998)
- 6) 山本優ら：札幌市における有害大気汚染物質調査結果について, 札幌市衛生研究所年報, 25, pp52-59(1998)
- 7) 安藤仁, 鈴木茂：川崎市における大気中揮発性有機化合物の調査, 川崎市公害研究所年報, 第25号, pp

- 15-18 (1999)
- 8) 東京都：平成9年度有害大気汚染物質モニタリング調査報告書, 1999
- 9) 東京都：平成10年度有害大気汚染物質モニタリング調査報告書, 1999
- 10) 東京都：平成11年度有害大気汚染物質モニタリング調査報告書, 2000
- 11) 東京都：平成12年度有害大気汚染物質モニタリング調査報告書, 2001 (印刷中)
- 12) 吉門洋, 水野建樹：一定周期の間欠測定から算定される年平均濃度の特性 (NO₂に関して), 大気環境学会誌, 35 (6), pp368-376 (2000)
- 13) 姫野修司ら：低濃度長期暴露評価のためのサンプリング方法の検討, 第40回大気環境学会年会講演要旨集, p340 (1999)
- 14) 松村年郎ら：東京都霞ヶ関における空気中のホルムアルデヒド濃度, 日本化学会誌, 4, pp540-545 (1979)
- 15) 今村清ら：都市大気中のハロカーボン類の挙動, 大気環境学会誌, 30 (6), pp398-409 (1995)
- 16) 浦野鉱平ら：有機ハロゲン化合物および芳香族炭化水素化合物による都市大気汚染, 大気汚染学会誌, 27 (5), pp227-236 (1992)
- 17) 中嶋敏秋, 近藤秀治：都市大気中の有機塩素化合物濃度、大気環境学会誌, 33 (1), pp42-49 (1998)
- 18) S. Uchiyama and S. Hasegawa : Investigation of Long-Term Sampling Period for Monitoring Volatile Organic Compounds in Ambient Air, Environ. Sci. Technol., 34, pp4656-4661 (2000)
- 19) 環境庁大気保全局大気規制課：有害大気汚染物質測定マニュアル, 1997
- 20) 星純也ら：有害大気汚染物質のモニタリングとその精度について, 東京都環境科学研究所年報, pp13-21 (1999)