

参考 1 微小粒子状物質濃度変動に関する統計学的特性について

大気汚染物質の環境濃度は、発生源条件、気象条件、地形条件等の影響を受け、一定の地域内でも時間的に変化する。こうした環境濃度の時間的変化を把握するためには、異なる平均化時間における測定値の統計学的な相互関連性の解析や異なる地域の測定結果によるトレンド分析を行う必要がある。

このため、2001 年度から実施している微小粒子状物質曝露影響調査等において、一般局及び自排局で測定を行っている PM_{2.5} (50°C加熱方式 TEOM) の年平均値や日平均値の測定結果を用いて、異なる平均化時間における統計学的特性を把握するための整理・解析を行った。

具体的には、測定局における年平均値と日平均値(日平均値の年間最大値、99 パーセンタイル値、98 パーセンタイル値等)の統計学的関連性をみるため、全測定局、地域別、測定局種別に経年的な解析を行った。

また、トレンド分析に当たっては、微小粒子状物質曝露影響調査等の測定結果を用いて、東京都板橋区、大阪府守口市、福岡県福岡市の 2001 年 4 月 1 日から 2008 年 3 月 31 日までの 7 年間にわたり、毎時測定した PM_{2.5} 濃度測定結果から、その期待値、分散の日内変動、週内変動、年内変動について、一般化加法モデルを用いて抽出した。

1. 年平均値と日平均値の統計学的関連性

測定局における年平均値と日平均値の統計学的関連性をみるため、日平均値の高濃度出現頻度(年間最大値、99パーセンタイル値、98パーセンタイル値、95パーセンタイル値、90パーセンタイル値)と中央値を選択して解析を行った(表参考 1.1、図参考 1.1)。

全国の測定局(一般局及び自排局)の測定結果によると、年平均値と日平均値の年間最大値との関連については、ばらつきが大きく、2001年度から2004年度にかけての決定係数¹は0.5未満であった。年平均値と日平均値の各パーセンタイル値との関係は、パーセンタイルが小さくなるにしたがって決定係数が大きくなり、年間98パーセンタイル値との比較ではすべての年度で決定係数が0.8以上になり、年間90パーセンタイル値との比較ではすべての年度で決定係数が0.9以上となった。一般局、自排局別に見た結果も、パーセンタイルが小さくなるにしたがって決定係数が大きくなる傾向は同様であり、局種の違いによる特徴は明確ではなかった。

年平均値と日平均値の高濃度出現頻度との関連を示す回帰式の傾きについては、日平均値の年間最大値の場合、年度によって大きく変動し、パーセンタイルが小さくなるにしたがって年度によるばらつきは小さくなる。年間98パーセンタイル値の回帰式の傾きは、年度によってばらつきがあり、1.2～2.3の範囲内で推移していた。年間90パーセンタイル値の回帰式の傾きは、1.3～1.6の範囲内で推移していた。一般局、自排局別に見た結果も、パーセンタイルが小さくなるにしたがって年度によるばらつきが小さくなる傾向は同様であり、局種の違いによる特徴は明確ではなかった。

¹ 決定係数 (R^2) :

相関係数 R の二乗であり、1に近いほど回帰式の精度が高いこと(測定結果の変動の大部分が回帰式によって説明できること)を意味している。統計学的な基準はないが、一般的には0.8以上で精度が非常によい、0.5以上で精度がややよい、0.5未満で精度がよくないとされている。

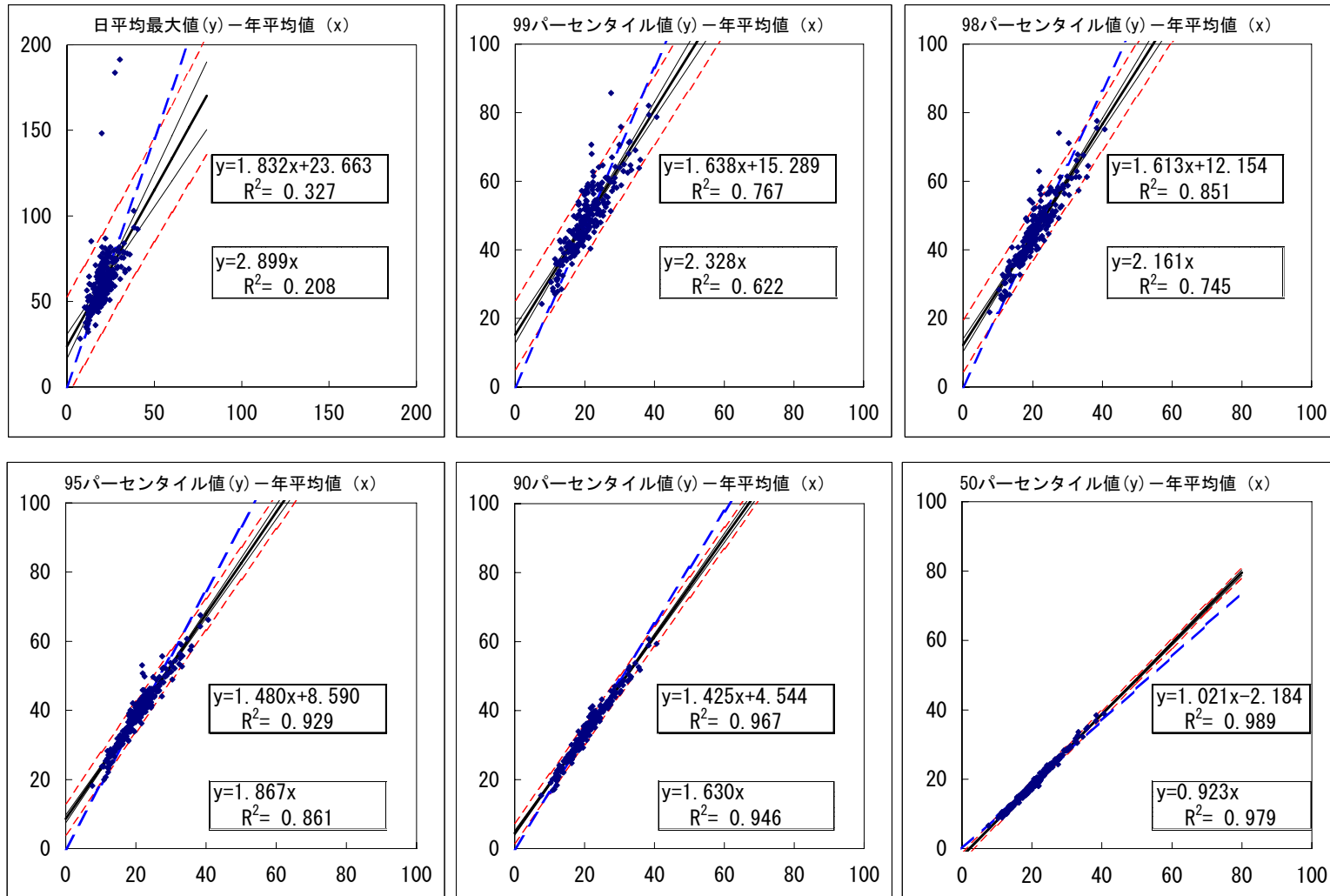
表参考1.1 年平均値と日平均値の関係

PM _{2.5} (50℃加熱方式TEOM)		全国		一般局+自排局									
年度	N	日平均値最大値		日平均値99パーセンタイル値		日平均値98パーセンタイル値		日平均値95パーセンタイル値		日平均値90パーセンタイル値		日平均値50パーセンタイル値	
		回帰式 y= a x +b	決定係数 R ²	回帰式 y= a x +b	決定係数 R ²	回帰式 y= a x +b	決定係数 R ²	回帰式 y= a x +b	決定係数 R ²	回帰式 y= a x +b	決定係数 R ²	回帰式 y= a x +b	決定係数 R ²
2001	28	y=1.905 x +24.417	0.230	y=1.723 x +13.641	0.832	y=1.717 x +9.824	0.911	y=1.469 x +8.989	0.963	y=1.381 x +5.415	0.974	y=1.003 x -1.839	0.996
2002	33	y=1.966 x +28.818	0.312	y=1.649 x +18.581	0.786	y=1.605 x +14.786	0.867	y=1.451 x +10.480	0.929	y=1.407 x +5.747	0.977	y=1.058 x -3.464	0.993
2003	33	y=1.162 x +32.472	0.486	y=1.240 x +21.835	0.801	y=1.260 x +18.301	0.908	y=1.302 x +11.678	0.965	y=1.322 x +6.455	0.970	y=1.050 x -2.490	0.986
2004	33	y=0.972 x +39.565	0.268	y=1.595 x +13.432	0.916	y=1.489 x +12.755	0.897	y=1.395 x +9.370	0.974	y=1.414 x +4.365	0.983	y=1.048 x -2.448	0.996
2005	33	y=1.191 x +32.446	0.518	y=1.307 x +20.672	0.806	y=1.429 x +15.137	0.896	y=1.406 x +9.668	0.937	y=1.379 x +5.828	0.967	y=1.038 x -2.442	0.993
2006	33	y=2.594 x +7.760	0.671	y=1.814 x +11.051	0.829	y=1.843 x +7.282	0.899	y=1.700 x +4.776	0.931	y=1.568 x +2.202	0.960	y=0.975 x -1.267	0.990
2007	33	y=2.844 x +10.571	0.275	y=2.529 x +3.183	0.784	y=2.301 x +2.298	0.801	y=1.818 x +3.247	0.833	y=1.551 x +1.894	0.914	y=0.939 x -0.957	0.973
2008	19	y=0.729 x +36.968	0.159	y=1.133 x +22.085	0.647	y=1.195 x +17.993	0.835	y=1.339 x +10.050	0.901	y=1.391 x +4.639	0.952	y=1.026 x -2.070	0.986
全年度	245	y=1.832 x +23.663	0.327	y=1.638 x +15.289	0.767	y=1.613 x +12.154	0.851	y=1.480 x +8.590	0.929	y=1.425 x +4.544	0.967	y=1.021 x -2.184	0.989
PM _{2.5} (50℃加熱方式TEOM)		全国		一般局									
年度	N	日平均値最大値		日平均値99パーセンタイル値		日平均値98パーセンタイル値		日平均値95パーセンタイル値		日平均値90パーセンタイル値		日平均値50パーセンタイル値	
		回帰式 y= a x +b	決定係数 R ²	回帰式 y= a x +b	決定係数 R ²	回帰式 y= a x +b	決定係数 R ²	回帰式 y= a x +b	決定係数 R ²	回帰式 y= a x +b	決定係数 R ²	回帰式 y= a x +b	決定係数 R ²
2001	17	y=1.456 x +32.221	0.197	y=2.291 x +2.713	0.839	y=2.020 x +3.950	0.896	y=1.672 x +5.178	0.954	y=1.552 x +2.034	0.960	y=0.994 x -1.655	0.987
2002	17	y=2.794 x +12.720	0.642	y=2.383 x +5.052	0.796	y=2.039 x +6.685	0.829	y=1.985 x +0.850	0.904	y=1.739 x -0.231	0.975	y=0.944 x -1.406	0.978
2003	17	y=2.007 x +17.522	0.380	y=1.673 x +14.090	0.637	y=1.699 x +10.476	0.880	y=1.556 x +7.114	0.944	y=1.508 x +3.148	0.918	y=1.072 x -2.950	0.956
2004	17	y=1.082 x +38.179	0.096	y=1.382 x +17.576	0.764	y=1.503 x +13.082	0.840	y=1.525 x +7.366	0.962	y=1.565 x +1.862	0.983	y=1.019 x -2.062	0.994
2005	17	y=0.865 x +39.286	0.177	y=1.224 x +22.800	0.600	y=1.587 x +12.842	0.880	y=1.598 x +6.318	0.925	y=1.561 x +2.548	0.955	y=1.049 x -2.688	0.984
2006	17	y=3.529 x -6.529	0.734	y=2.454 x +1.074	0.851	y=2.404 x -1.761	0.924	y=2.163 x -2.618	0.960	y=1.912 x -3.492	0.987	y=0.907 x -0.214	0.986
2007	17	y=3.008 x +7.629	0.739	y=3.265 x -7.254	0.900	y=3.086 x -9.723	0.880	y=2.503 x -7.103	0.931	y=1.896 x -3.458	0.940	y=0.836 x +0.569	0.969
2008	14	y=0.698 x +37.439	0.096	y=1.440 x +17.375	0.682	y=1.297 x +16.348	0.784	y=1.360 x +9.881	0.893	y=1.435 x +4.153	0.953	y=1.032 x -2.164	0.979
全年度	133	y=2.103 x +19.362	0.378	y=2.051 x +8.572	0.695	y=1.978 x +6.081	0.804	y=1.809 x +3.119	0.896	y=1.655 x +0.648	0.952	y=0.977 x -1.476	0.970
PM _{2.5} (50℃加熱方式TEOM)		全国		自排局									
年度	N	日平均値最大値		日平均値99パーセンタイル値		日平均値98パーセンタイル値		日平均値95パーセンタイル値		日平均値90パーセンタイル値		日平均値50パーセンタイル値	
		回帰式 y= a x +b	決定係数 R ²	回帰式 y= a x +b	決定係数 R ²	回帰式 y= a x +b	決定係数 R ²	回帰式 y= a x +b	決定係数 R ²	回帰式 y= a x +b	決定係数 R ²	回帰式 y= a x +b	決定係数 R ²
2001	11	y=1.674 x +33.060	0.065	y=1.455 x +21.097	0.642	y=1.554 x +14.469	0.789	y=1.426 x +9.930	0.922	y=1.253 x +9.227	0.952	y=1.012 x -2.113	0.994
2002	16	y=1.407 x +45.275	0.080	y=1.406 x +25.245	0.598	y=1.427 x +19.809	0.739	y=1.342 x +13.234	0.914	y=1.345 x +7.255	0.971	y=1.085 x -4.165	0.991
2003	16	y=1.063 x +34.238	0.633	y=1.161 x +23.561	0.849	y=1.190 x +19.781	0.901	y=1.245 x +13.012	0.958	y=1.294 x +7.014	0.978	y=1.025 x -1.779	0.984
2004	16	y=1.065 x +36.807	0.468	y=1.764 x +9.021	0.938	y=1.621 x +9.039	0.891	y=1.419 x +8.486	0.971	y=1.399 x +4.546	0.977	y=1.028 x -1.824	0.995
2005	16	y=1.518 x +24.129	0.780	y=1.467 x +16.436	0.897	y=1.474 x +13.525	0.900	y=1.348 x +10.809	0.933	y=1.304 x +7.476	0.973	y=1.024 x -2.085	0.994
2006	16	y=2.489 x +7.570	0.695	y=1.705 x +11.936	0.920	y=1.692 x +9.552	0.944	y=1.587 x +6.324	0.963	y=1.448 x +4.339	0.968	y=0.984 x -1.264	0.993
2007	16	y=2.660 x +14.367	0.137	y=2.431 x +2.962	0.787	y=1.964 x +7.571	0.824	y=1.561 x +6.980	0.894	y=1.384 x +4.671	0.937	y=0.970 x -1.353	0.982
2008	5	y=0.760 x +36.477	0.309	y=0.685 x +29.850	0.697	y=0.931 x +22.962	0.975	y=1.555 x +5.473	0.913	y=1.616 x -0.249	0.990	y=1.021 x -1.992	0.990
全年度	112	y=1.848 x +22.569	0.244	y=1.626 x +14.740	0.776	y=1.576 x +12.419	0.847	y=1.445 x +8.879	0.947	y=1.385 x +5.230	0.973	y=1.019 x -2.021	0.991

PM_{2.5} (50°C加熱方式TEOM)

単位：μg/m³

全年度
[N=245]



※N=地点数 ※ 太線：切片を有する回帰式 $y=ax+b$ 細線：回帰式の95%信頼区間 ※決定係数が負の値となった場合には、 $R^2=0$ とした。
 太破線：切片を有しない回帰式 $y=ax$ 破線：観測値の95%信頼区間

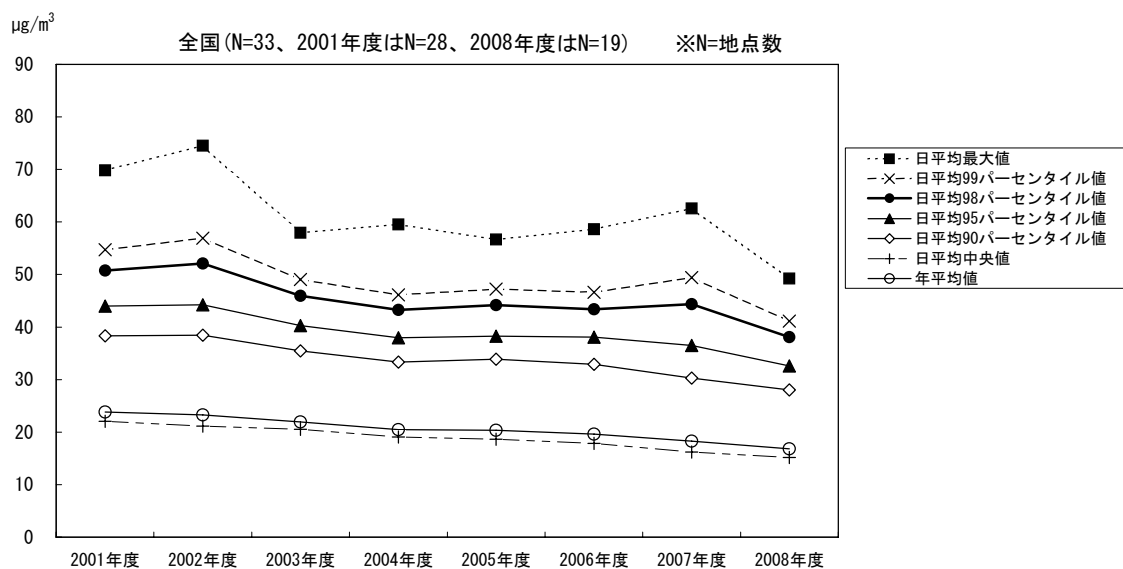
図参考1.1 年平均値と日平均値との関係 (2001~2008年度、全国、一般局+自排局)

2. 年平均値と日平均値の経年変化の比較

測定局における年平均値と日平均値の関係をみるため、全国の測定局の年平均値、日平均値の高濃度出現頻度(年間最大値、99パーセンタイル値、98パーセンタイル値、95パーセンタイル値、90パーセンタイル値)と中央値の経年変化に関する形状を比較した。

全国の測定局の結果(図参考 1.2 一般局及び自排局)によると、2001年度から2008年度にかけて年平均値が $7\mu\text{g}/\text{m}^3$ 減少したのに対して、高濃度出現頻度を代表した年間98パーセンタイル値は $13\mu\text{g}/\text{m}^3$ 減少しており、高濃度出現頻度の減少がみられた。

全国的な測定結果から、日平均値の最大値は、年平均値や他の高濃度出現頻度における日平均値の経年変化と比較して、年度ごとの変動が激しく、経年変化のグラフの形状が異なっていた。99パーセンタイル値より小さい高濃度出現頻度の経年変化のグラフの形状は年平均値のグラフの形状と近似していた。

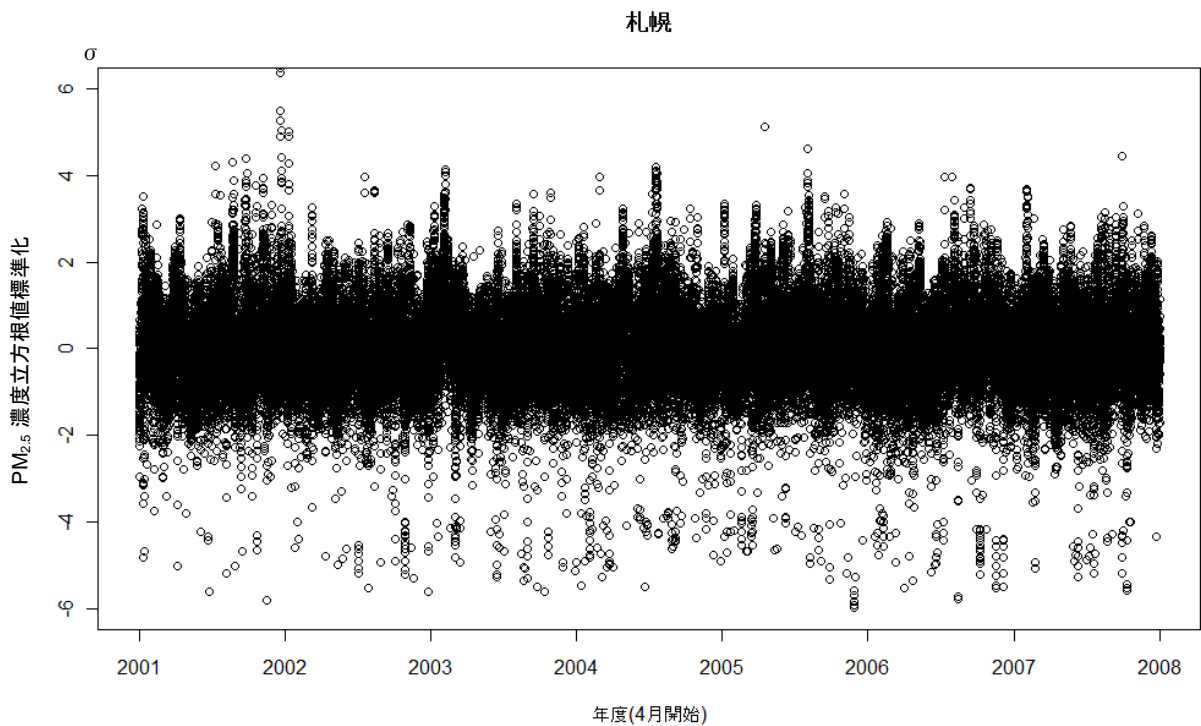


図参考1.2 年平均値と日平均値の経年変化の比較

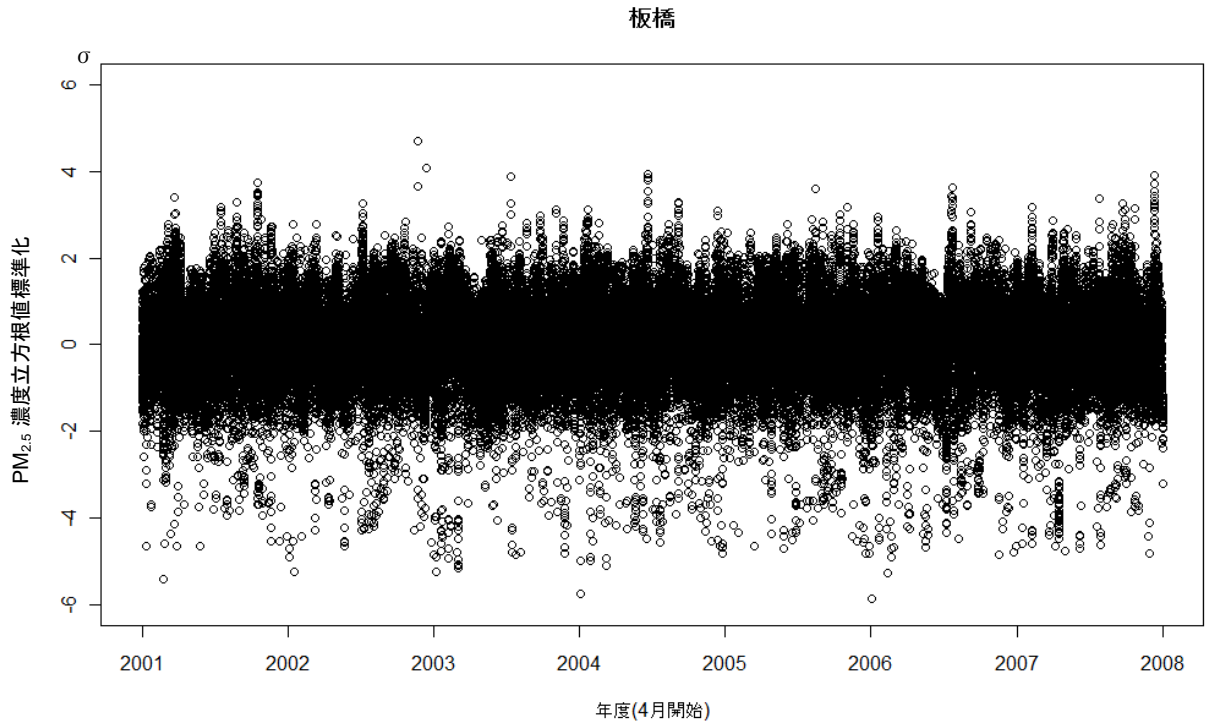
3. 微小粒子状物質濃度変動の地域別トレンド分析結果

北海道札幌市、東京都板橋区、大阪府守口市、福岡県福岡市の4地域における $\text{PM}_{2.5}$ 濃度の2001年4月1日0時から2007年3月31日23時までの7年間の1時間値測定結果から得られた時系列データからトレンド(系統的変動)を分析した。いずれの地域においても $\text{PM}_{2.5}$ 濃度時系列データの立方根変換が正規分布に近いことが確認された。そこで、 $\text{PM}_{2.5}$ 濃度立方根変換データに対して一般化加法モデル(GAM)を当てはめ、その結果、日内変動成分(24時間周期トレンド)、週内変動成分(7日間周期トレンド)、年内変動成分(365.25日周期トレンド)、長期トレンドが統計的に有意な系統的変動となっていることが確認された。すなわち、

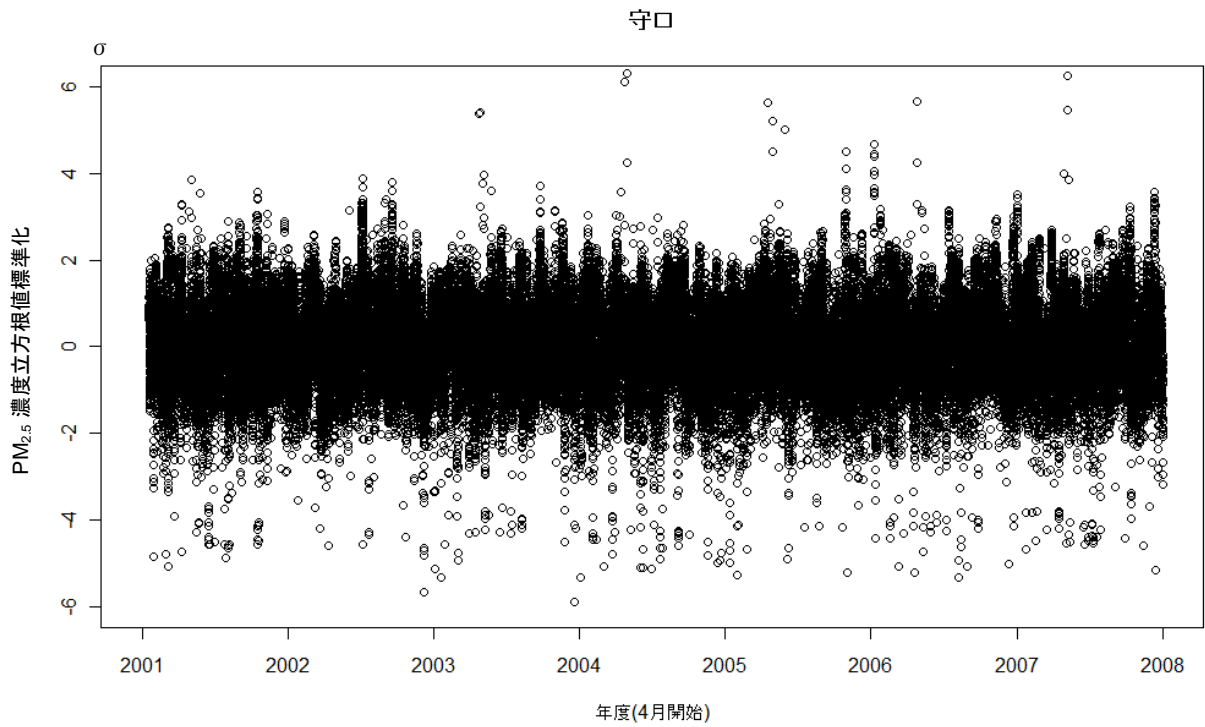
PM_{2.5}濃度は平均的には、日中、土曜・日曜、12月から1月にかけては低い水準となっていることを示せた。さらに、4地域のPM_{2.5}濃度立方根データから、ここで抽出した上記4つのトレンドを引き去った残差を不規則変動成分とした。この不規則変動成分の分散についても、同様の方法でトレンドを抽出し、おおむね日中、土曜・日曜は分散が大きくなっている傾向を確認した。算出したトレンド成分を基に各地域のPM_{2.5}濃度立方根変換データの平均値及び標準偏差の予測値を求め、これを基に平均0、分散1に標準化したデータの時系列プロットを4地域について算出した(図参考1.3)。図参考1.3から平均値±3標準偏差の外に分布する測定値は、いずれの地域においても低濃度側に偏っている測定値[縦軸の値が-3未満]が多いという特徴がみられた。



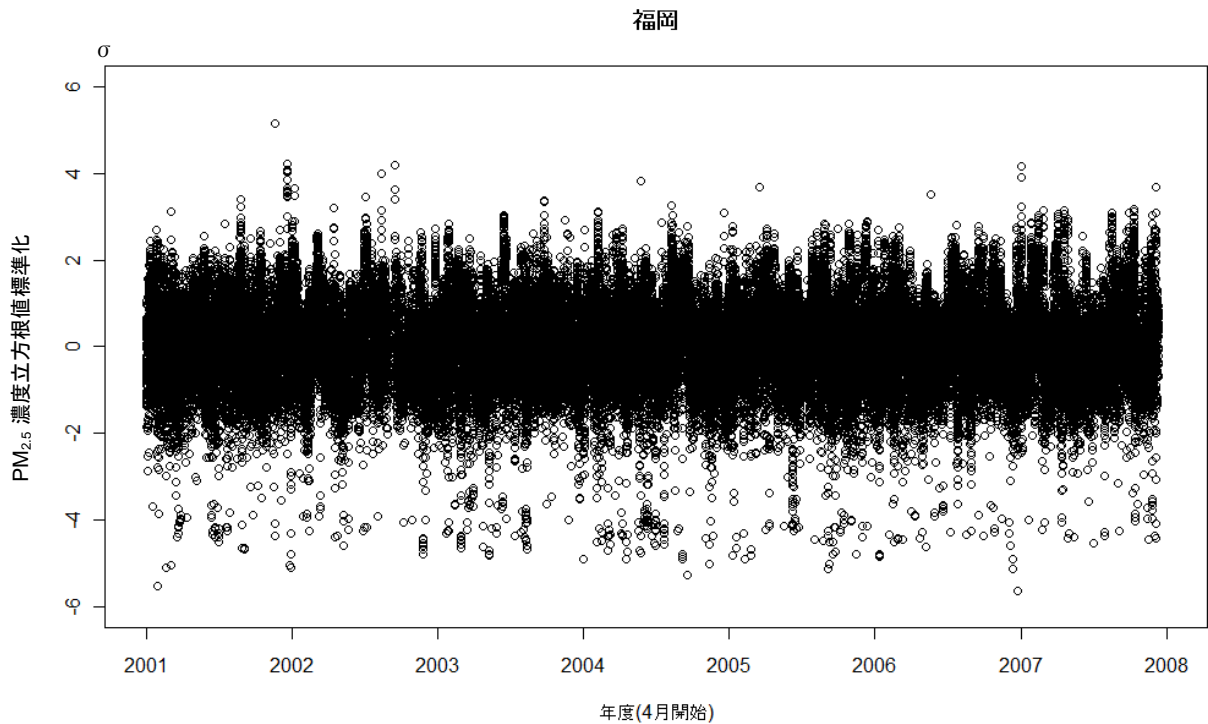
図参考1.3a 札幌の残差を標準化したデータの時系列プロット



図参考1.3b 板橋の残差を標準化したデータの時系列プロット



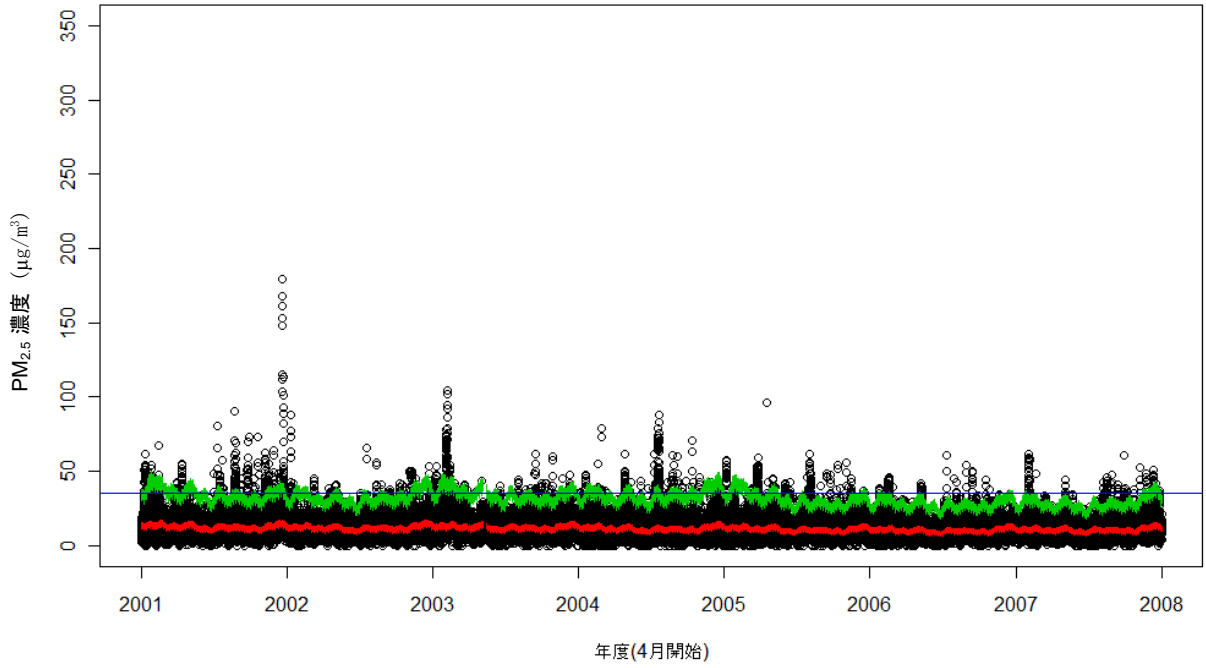
図参考1.3c 守口の残差を標準化したデータの時系列プロット



図参考1.3d 福岡の残差を標準化したデータの時系列プロット

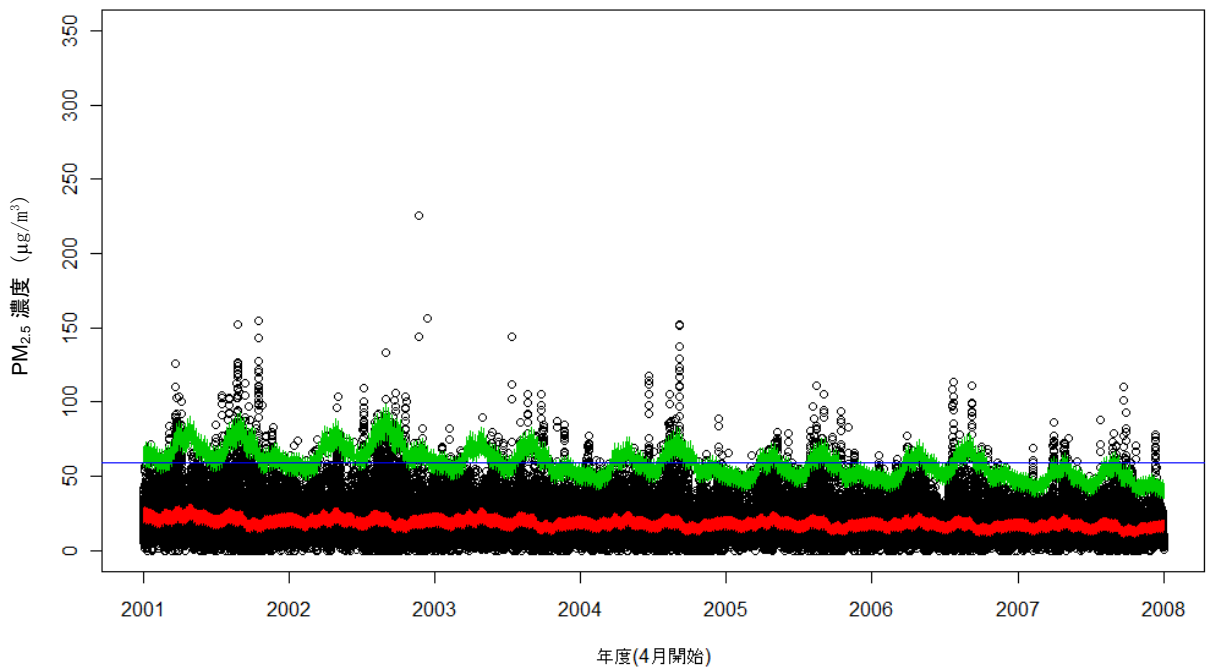
以上のトレンド分析から求められた $PM_{2.5}$ 濃度立方根変換時系列データの予測値とその上限値に関する区間推定(予測値+2標準偏差)を3乗することで、 $PM_{2.5}$ 濃度時系列データの予測値(赤)、予測値+2標準偏差(緑)を求め、更に参照用に全データの98パーセンタイル値[青]を示した(図参考1.4 a, b, c, d)。これによると、いずれの地域においても、98パーセンタイル値はこの予測上限値とほぼ一致していることがわかる。同様の一致性は、日平均値の解析においても再現され、日平均値の年間98パーセンタイル値は、トレンドに基づく予測値+2標準偏差の代替として有効である。言い換えれば、 $PM_{2.5}$ 濃度の週間や季節的な傾向変動の存在を加味しても、日平均値の年間98パーセンタイル値を超える値は、おおむね当該地域の予想される日常的な変動とは異なる値に相当する。

札幌

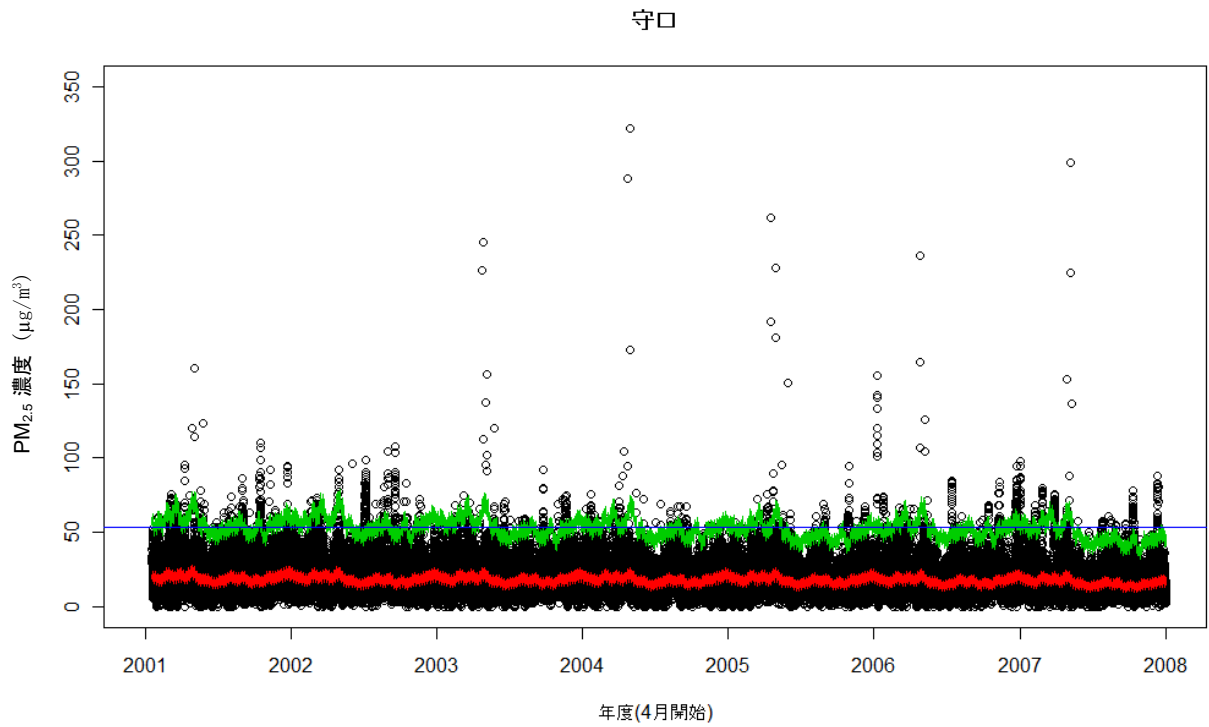


図参考1.4a 札幌のPM_{2.5}の変動期待値と上限値

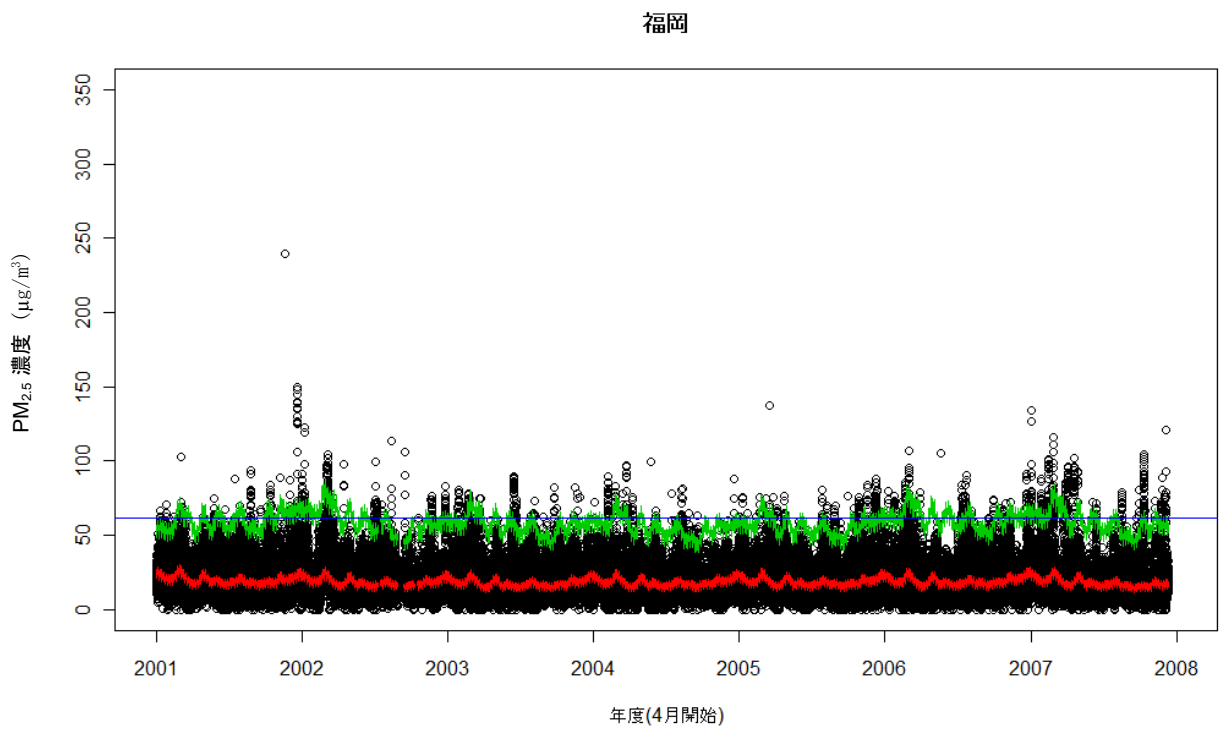
板橋



図参考1.4b 板橋のPM_{2.5}の変動期待値と上限値



図参考1.4c 守口のPM_{2.5}の変動期待値と上限値



図参考1.4d 福岡のPM_{2.5}の変動期待値と上限値

4. 年平均値に対応する 98 パーセンタイル値の推計について

PM_{2.5} 質量濃度の年平均値に対応する日平均値の年間 98 パーセンタイル値について、PM_{2.5}濃度の測定データを用いて検証した。日平均値の年間 98 パーセンタイル値の算出に当たっては、これまでの PM_{2.5} 質量濃度測定結果(50°C加熱方式 TEOM)によって算出された回帰式に基づいて行うこととした。

また、年平均値と日平均値の 98 パーセンタイル値との関連性に係る回帰式の導出に当たっては、2001 年度から 2008 年度における全国の PM_{2.5} 質量濃度測定結果(50°C加熱方式 TEOM)を用いて、切片を有する回帰式(y=ax+b)だけでなく、切片を有しない回帰式(y=ax)について解析を実施した。回帰式の導出に当たっては、回帰式や測定結果の有する誤差要因にも考慮し、回帰式の傾きや切片について 95%信頼区間の幅についても算出した(表参考 1.2、図参考 1.5)。

回帰式の精度を表す決定係数は切片を有する回帰式の方が高いこと、低濃度領域においては濃度の高い方に、また、高濃度領域においては濃度の低い方に測定結果が検出される傾向にあることから、経験的に切片を有する回帰式の方が適切と考えられる。

これらのことから、表参考 1.2 に示す切片を有する回帰式を用いて、年平均値を 15μg/m³と仮定し、かつ年平均値の測定誤差^{*1}を考慮して年平均値を 14.65~15.35μg/m³とした場合の日平均値の年間 98 パーセンタイル値を試算すると 35.8~36.9μg/m³となり、回帰式の 95%信頼区間を考慮して試算すると 35.1~37.6μg/m³となった。また、個々の観測値についても 95%信頼区間^{*2}を考慮して試算すると 28.4~44.3μg/m³となった。

表参考 1.2 年平均値と日平均値の年間 98 パーセンタイル値の統計的関連性 (2001~2008 年度、全国、一般局+自排局)

	N	回帰式 y= a x +b	決定係数 R ²	t(fe, α)	標準誤差 D[a]	傾き(a) 95%信頼区間		標準誤差 D[b]	切片(b) 95%信頼区間	
						最小	最大		最小	最大
切片を有する回帰式(y=ax+b)	245	y= 1.613 x +12.154	0.851	1.970	0.043	1.528	1.698	0.929	10.324	13.984
切片を有しない回帰式(y=ax)	245	y= 2.161 x	0.745	1.970	0.014	2.133	2.189	—	—	—

※t(fe, α) : 自由度 fe の t 分布で、両側確率 α とする t の値。自由度は fe=N-2 (y=ax+b)、fe=N-1 (y=ax)、α=0.05 とした。

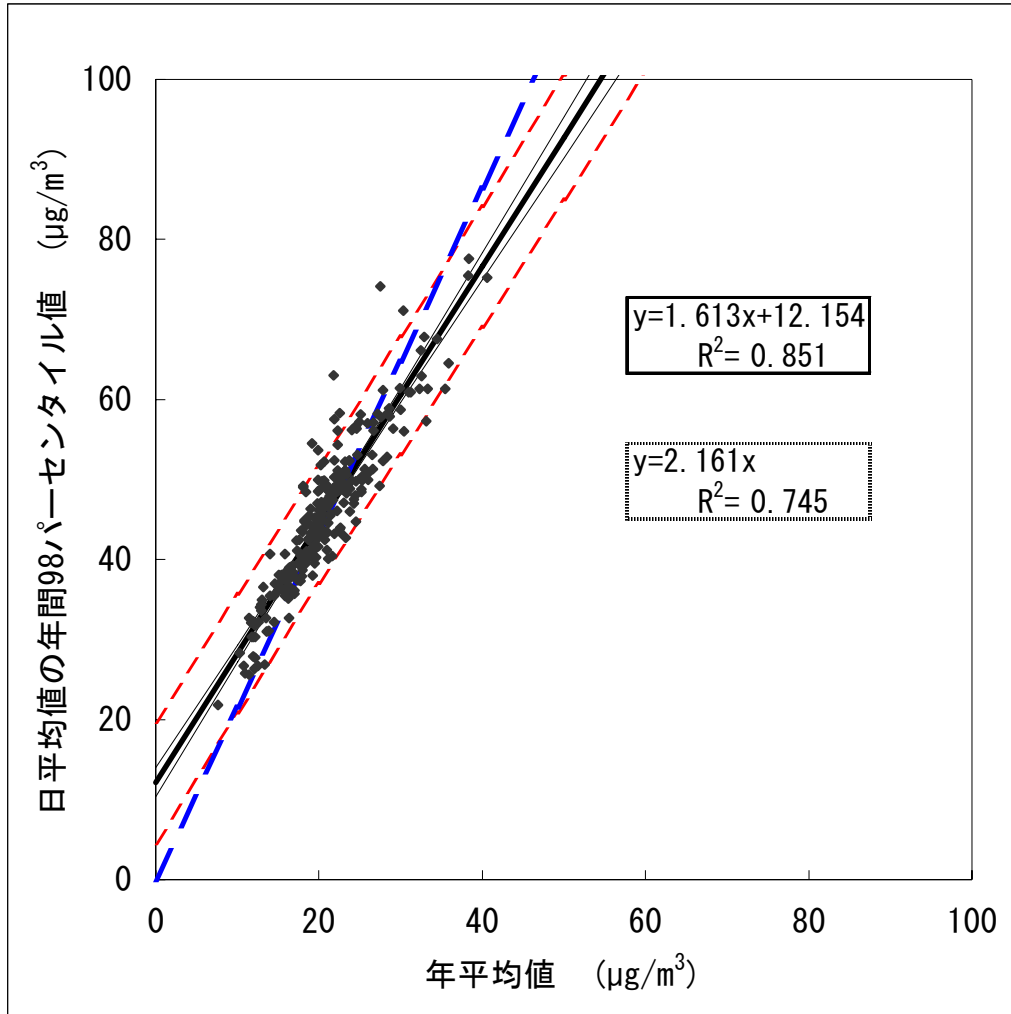
※傾き(a)と切片(b)の信頼区間については次のとおり。

傾き(a) : 最小=a-t(fe, α)*D[a]、最大=a+t(fe, α)*D[a]、切片(b) : 最小=b-t(fe, α)*D[b]、最大=b+t(fe, α)*D[b]

年平均値に対する日平均値の推定

	年平均値 (μg/m ³)	年平均値に対する日平均推定値 (μg/m ³)					
		推定値	回帰式95%信頼区間		観測値95%信頼区間		観測値95%信頼区間 範囲
			最小	最大	最小	最大	
切片を有する回帰式 (y=ax+b)	14.65	35.78	35.08	36.48	28.41	43.15	28.41~44.28
	15	36.34	35.67	37.02	28.97	43.72	
	15.35	36.91	36.25	37.56	29.54	44.28	
切片を有しない回帰式 (y=ax)	14.65	31.65	31.24	32.07	22.08	41.23	22.08~42.74
	15	32.41	31.98	32.84	22.84	41.98	
	15.35	33.17	32.73	33.60	23.60	42.74	

※年平均値(N=245)の標準誤差σ=0.35



太線 : 切片を有する回帰式 $y=ax+b$ 細線 : 回帰式の95%信頼区間
 太破線 : 切片を有しない回帰式 $y=ax$ 破線 : 観測値の95%信頼区間

図参考 1.5 年平均値と日平均値の年間 98 パーセンタイル値の統計的関連性 (2001~2008 年度、全国、一般局+自排局)

※1 年平均値の測定誤差 :

各測定局における2001~2007年度の年平均値を用いて標準誤差を算出し、測定誤差 $0.35\mu\text{g}/\text{m}^3$ とした。

※2 観測値の95%信頼区間 :

実際の測定(観測)においては、年平均値に対する日平均値の年間98パーセンタイル値にはばらつきが存在する。得られた回帰式に対して観測された日平均値のばらつきを考慮し、日平均値の収まる区間を推定したものである。表参考1.2に示すように年平均値を $14.65\sim 15.35\mu\text{g}/\text{m}^3$ とした場合、日平均値の年間98パーセンタイル値が $28\sim 44\mu\text{g}/\text{m}^3$ に入る確率は95%であることを示している。

参考文献

若浦雅嗣(2004)一般化加法モデルを用いた気温過程の平均・分散構造解析, 応用統計学 Vol. 33,
pp. 181-200.