

主要6都市の地下街における粒子状汚染物質に関する研究

Actual Condition Survey of Particulate Pollutant in Underground Malls of Principal 6 Cities in Japan

J06049-9 小柳 裕平

Abstract

As for the underground malls, enough management of the air environment is feared because the population and traffic are overcrowded and it is constructed under the soil. Moreover, the influence on health of micro-order particles become a social problem by the epidemiology research in recent years. In this investigation a particulate contaminant of the underground malls is investigated by the actual condition survey. As some results, though almost all the factor did not exceed the regulated value which is decided by the law, particle concentration, co and CO₂ concentrations are influenced by the number of passer and air quality of outside.

Keywords : 地下街 (underground mall) 室内空気質 (Indoor air quality) 浮遊粉じん (suspended dust) 質量濃度 (mass concentration) 粒径別個数濃度 (number concentration) 通行者 (passer)

1. 背景・目的

我が国の室内環境の基準である「建築物における衛生的環境の確保に関する法律(通称、建築物衛生法)」において、特定用途で使用される延床面積 3000m² 以上の建物を特定建築物と指定し、これに対して表1に示す7項目の管理基準がある。地下街に関してもこの法律が適応され、環境衛生上の維持管理が義務付けられている¹⁾。しかし、地下街は主に交通量が多く、人口の密集する都市部に建設され、さらに閉鎖的空間であることから、地上に建設された建築物と比較すると室内環境は特殊であり、空気の滞留等が懸念される。利用者だけでなく、地下街の飲食店や販売店等で働く長時間滞在者に対しても安全性、快適性の面で空気環境の十分な維持管理が求められる。

一方、建築物衛生法では、浮遊粉じんに関しては粒径 10μm 以下の粒子が質量濃度(単位体積当たりの粒子の総質量)で 0.15mg/m³ 以下と定められている。しかし、近年の疫学調査により非常に微小な粒子が人体の健康に影響を与えていることが明らかとされており、主に呼吸器系疾患や循環器系疾患の原因とされている。そのためこれまでの質量濃度に関する知見だけでなく、粒子径、個数濃度(単位体積当たりの粒子の存在個数)に関する知見についても必要である。

本研究では、都市部に位置する6ヶ所の地下街の実測調査を行い、浮遊粉じんの質量濃度及び個数濃度の測定を行い、地下街における粒子状汚染物質の現状を把握することを目的とする。

2. 調査項目

実測調査は、東京、川崎、北海道、福岡、名古屋、大阪の計6ヶ所の地下街を調査対象とし、東京については夏季、他の地域については冬季に室内外にて実測調査を行った。表2、3に調査概要と、今回の実測対象の建物とその空調・換気設備の概要を示す。

測定については、室内定点連続測定、室外定点連続測定、巡回移動測定(室内10ヶ所と室外1ヶ所を午前午後に分

表1 建築物衛生法7項目

項目	基準値
浮遊粉じん	概ね10[μm]以下の粒子が0.15[mg/m ³]以下
一酸化炭素	10[ppm]
二酸化炭素	1000[ppm]
温度	17~28[°C]
相対湿度	40~70[%]
気流	0.5[m/s]
ホルムアルデヒド	0.01[mg/m ³]以下

表2 調査概要

測定場所	調査日	測定時間	測定時の天候
東京	2009.08.11	10:30-18:00	晴れ
川崎	2009.11.13	10:00-18:00	曇り/雨
北海道	2009.11.26	10:00-18:00	曇り
福岡	2009.12.04	10:30-18:00	晴れ
名古屋	2009.12.09	10:00-18:00	晴れ
大阪	2009.12.10	10:00-18:00	曇り

表3 空調・換気設備

測定場所	竣工年	延床面積[m ²]	規模	空調方式	換気方式	エアフィルタ型式(捕集率[%])	
						前段(重量法)	後段(比色法)
東京	1965	29,035	地下1階一部2階	全体制御 PAC FCU	AHU OHU HEX	自動巻取型(90)	静電式(不明)
川崎	1986	56,916	地上1階地下2階	全体制御 PAC FCU	AHU OHU HEX	パネル型(76)	ろ材折込型(90~95)
北海道	1971	33,645	地上1階地下3階	全体制御	OHU	自動巻取型(85)	不明
福岡	1976	53,300	地上1階地下3階	全体制御 FCU	AHU	パネル型(30)	自動巻取型 静電式(90)
名古屋	1978	54,838	地下2階一部3階	全体制御 ゾーン制御 FCU	AHU	未回答	未回答
大阪	1970	37,881	地上1階地下1階	全体制御	AHU OHU FCU	自動巻取型(85)	ろ材折込型(90)

PAC:パッケージエアコン FCU:ファンコイルユニット
AHU:エアハンド OHU:外調機 HEX:全熱交換器

表4 測定概要

測定方法	測定項目	測定機器	測定時間
定点連続測定	浮遊粉じん 個数濃度[個/m ³]	LPC	1回1分間の連続測定
	浮遊粉じん 質量濃度[mg/m ³]	DDC	
	一酸化炭素[ppm]	IAQモニター	
	二酸化炭素[ppm]		
	温度[°C]		
	相対湿度[%]		
	気流(室内のみ)[m/s]		
通行者人数(室内のみ)[人]	数取り機	1回1分間の10分間隔測定	
巡回移動測定	浮遊粉じん 個数濃度[個/m ³]	LPC	各巡回地点1回1分間
	浮遊粉じん 質量濃度[mg/m ³]	IES3000	
	一酸化炭素[ppm]		
	二酸化炭素[ppm]		
	温度[°C]		
相対湿度[%]			

け、各測定点につき1回1分間を約5分間測定)の3種類

行い、建築物衛生法の定める測定項目を測定した。測定概要を表4に示す。

3. 連続測定 結果

3. 1 温度・湿度

図1、2に各地下街の測定結果、また、例として図6に川崎の温度の時系列変化を示す。温度に関しては、測定点が地下ということもあり、日射や伝熱等の外部の影響がなく、やや高めではあるが、どの時間帯も建築物衛生法の管理基準値である17~28℃の間を示している。東京、北海道、名古屋はほぼ直線で、その他の地域は多少ばらつきがあった。空調設備の整った室内空間と考えれば、変動幅は大きい、これは測定場所が通路であり、外気の影響も大きく半屋外空間に近い状態である事などから、十分な許容範囲内と考えるべきであろう。全体的に午前から午後にかけて緩やかに上昇しているのは、人間からの発熱の可能性が考えられる。

相対湿度に関しては、管理基準値である40~70%の値を福岡と名古屋は維持できていなかった。その他の都市も、法的には問題はないが、全体的にかなり低い値を示した。可能性として、空調（特に暖房）により室内の温度が高くなった分、相対湿度が下がり、加湿量が不十分になったことや、人間が少なく呼気中の水分が少ないことが理由として考えられる。

3. 2 一酸化炭素、二酸化炭素の含有率

図3、4に各地下街の測定結果、また例として図7に川崎の二酸化炭素の時系列変化を示す。一酸化炭素に関しては、どの都市も建築物衛生法の管理基準値10ppmを大きく下回る結果が得られた。しかし、一般の事務所などはほとんど検出されないため²⁾、平均で1ppm程度ではあるが、検出量としては多い方であるといえる。全ての地下街で分煙はされていて為、タバコの影響ではなさそうであるが、同様に全ての地下街で地下2階が駐車場であったため、ここから流入した可能性が高いと考えられる。

二酸化炭素については、全ての都市でどの時間帯も管理基準値1000ppmを下回る結果が得られた。しかし、大気中の二酸化炭素の濃度は一般的に約370ppmといわれているため、少し高い値を示している。通行人数とも、少なからず関係しており、やはり、昼食の時間帯と帰宅の時間帯に若干上がる傾向があった。

3. 3 気流

図5に各地下街の測定結果を示す。気流の測定結果は、平均値はすべての地域、管理基準値である0.5m/s以下を示したが、北海道に限り、管理基準値を満たせない場面が多く見られた。最大で1.0m/sを超えることもあり、検討が必要な地域であると考えられる。他の地域も管理基準値は維持しているものの、変化が比較的激しく、空調の吹き出し口からの距離等の関係もあると考えられる。しかし、在室者の大半は通行者であり、さほど問題はないとも考えられる。

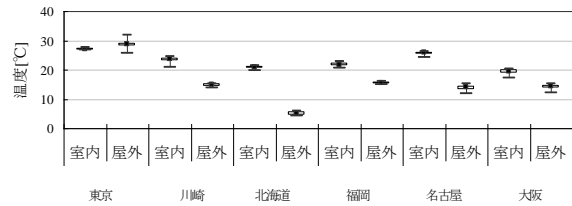


図1 温度

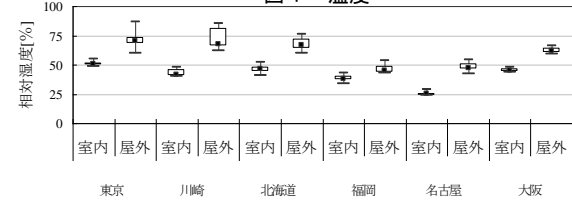


図2 相対湿度

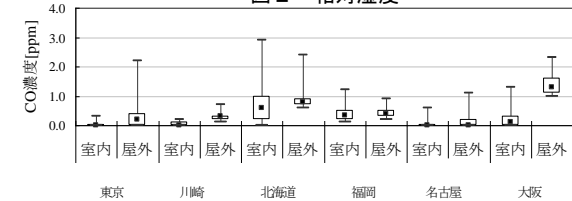


図3 CO濃度

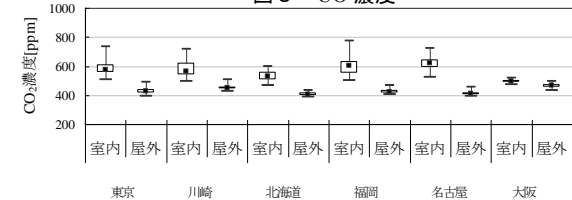


図4 CO2濃度

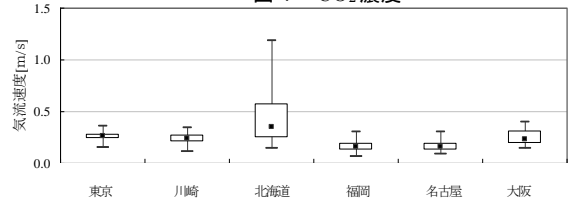


図5 気流速度

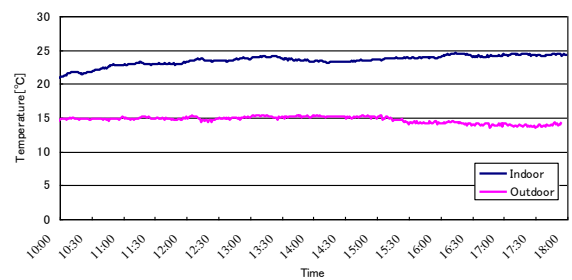


図6 温度の時系列変化 (川崎)

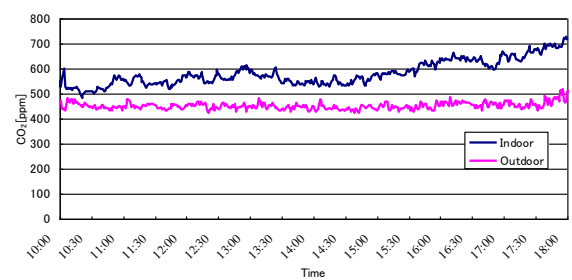


図7 二酸化炭素の時系列変化 (川崎)

3. 4 浮遊粉じんの質量濃度

表5に、各都市の浮遊粉じんの時系列変化の平均、及び相関係数を示す。どの都市も建築物衛生法の管理基準0.15mg/m³を大きく下回る結果となり、管理が十分になされていると言える。

また、図8に各地下街の測定結果、図9、10に例として東京における浮遊粉じんの室内外及び、通過人数の時系列変化を示す。室内に着目すると、12:00~13:00頃、または、16:30~18:00頃にかけて高い値を示していることが分かる。これは、昼食の時間帯や帰宅の時間帯ということもあり、通過人数の増加から浮遊粉じんが多く発生していることが考えられる。室内の浮遊粉じんと通過人数の時系列変化を見ると、2つの値に変動の追従性が見られ、浮遊粉じんの質量濃度と通過人数に関係性があることが確認できる。

また、室外に着目すると、東京は午前中に高い値を示すのに対して、名古屋は夕方から高い値を示すなど、各都市で共通した変化を示さなかった。しかし、どの都市も値にばらつきが目立ち、一時的に値が上昇することが多かった。この原因として、室外の浮遊粉じんは、その時の交通の状況により変化しやすく、空調機を通らない自動車からの排気ガスが大きな影響を与えているものと考えられる。

室内外を比較すると、全体的に東京、福岡は室内の値が高く、その他の地域では室外の値が高い結果となった。相関係数から、東京と福岡は、室内と室外の相関が他の都市と比べ高く、室内が外気の影響を少なからず受けていると考えられる。

3. 5 浮遊粉じんの粒径別個数濃度

表6に粒径別個数濃度の時系列変化の平均を示す。なお、LPCは各粒径範囲における単純な個数濃度(dNi)として測定されるが、ここでは規準化濃度(dNi/dLogDp)に変換した値を示している。

どの都市も、共通して粒径の小さいものは個数濃度が一番高く、粒径が大きくなるにつれて、個数濃度は減少するという結果を得られた。

図11に例として東京の0.3~0.5μm、5.0μm以上の粒径の時系列変化を示す。室内に関しては、粒子の質量濃度と同じく、人の通行や動作により全体的に値が上昇する結果が得られた。

室内外を比較すると、粒径の違いで変化が生まれた。小さい粒径に関しては室外の方が高い、もしくはほぼ同じ値であるのに対し、一番大きい粒径である5.0μm以上の粒子は、室内の値の方が非常に高かった。室外の粒子の発生源の直接的因子が自動車の排気ガスであると考え、排気ガスの粒径は小さく、また、どの都市でも、空調機に十分な性能を持つフィルタが装着されていることが理由であると考え。小さい粒径のものは、出入り口などから侵入し、外気からの影響が大きく、5.0μm以上の粒子は室内からの発じんの影響が大きいことが分かった。

表5 質量濃度・時系列変化の平均及び相関係数

項目	東京		川崎		北海道	
	室内	室外	室内	室外	室内	室外
平均[mg/m ³]	0.012	0.01	0.02	0.034	0.017	0.036
標準偏差[mg/m ³]	0.003	0.005	0	0.022	0.003	0.014
相関係数	0.39		0.15		-0.01	

項目	福岡		名古屋		大阪	
	室内	室外	室内	室外	室内	室外
平均[mg/m ³]	0.012	0.01	0.02	0.034	0.017	0.035
標準偏差[mg/m ³]	0.003	0.005	0	0.022	0.003	0.014
相関係数	0.4		0.15		0.01	

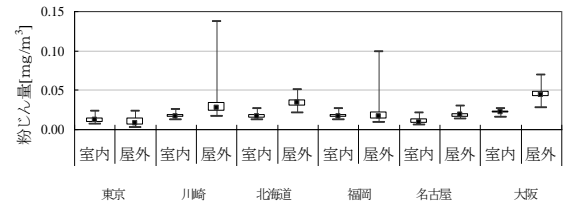


図8 質量濃度

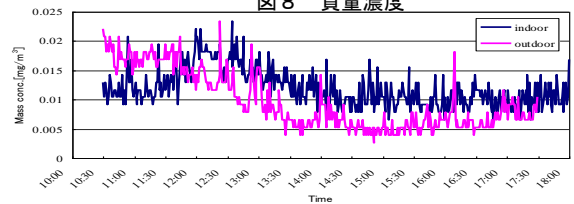


図9 質量濃度の時系列変化(東京)

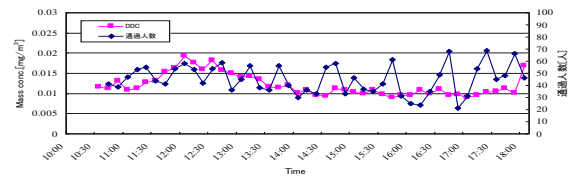


図10 質量濃度と通過人数の時系列変化(東京)

表6 粒径別個数濃度 時系列変化の平均

測定点	項目	粒径範囲[μm]					
		0.3-0.5	0.5-0.7	0.7-1.0	1.0-2.0	2.0-5.0	5.0<
東京	室内	2.0E+08	2.2E+07	4.3E+06	9.5E+05	4.2E+05	2.0E+05
	室外	1.4E+08	2.5E+07	5.3E+06	1.8E+06	7.0E+05	6.0E+04
川崎	室内	2.0E+08	3.2E+07	1.2E+07	1.4E+06	1.1E+06	4.5E+05
	室外	3.9E+08	5.2E+07	1.0E+07	1.6E+06	2.1E+06	7.5E+05
北海道	室内	3.3E+08	4.4E+07	8.6E+06	7.2E+05	5.7E+05	3.3E+05
	室外	6.3E+08	1.1E+08	1.8E+07	1.8E+06	1.3E+06	1.8E+05
福岡	室内	2.3E+08	4.2E+07	1.5E+07	1.6E+06	1.1E+06	3.6E+05
	室外	3.0E+08	5.8E+07	1.9E+07	2.1E+06	1.3E+06	1.2E+05
名古屋	室内	2.9E+08	3.3E+07	6.1E+06	4.0E+05	2.3E+05	8.9E+04
	室外	4.2E+08	6.8E+07	1.9E+07	1.8E+06	8.7E+05	7.0E+04
大阪	室内	5.5E+08	9.0E+07	2.1E+07	1.5E+06	7.9E+05	2.4E+05
	室外	6.7E+08	1.7E+08	4.8E+07	4.1E+06	1.4E+06	7.1E+04

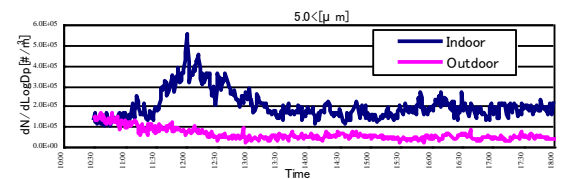
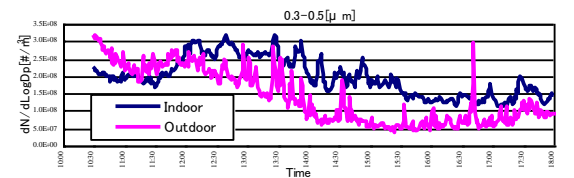


図11 粒径別個数濃度の時系列変化(東京)

4. 巡回移動測定 結果

4. 1 温度・相対湿度

図12に例として東京の測定点見取り図、図13に温度、相対湿度の各測定点の平均値を示す。温度や相対湿度はどの都市も、測定点によりばらつきがあった。同じ室内でも温度や相対湿度に差があると人が不快に思うことが考えられるので検討が必要である。

4. 2 浮遊粉じん・二酸化炭素

図14に例として東京の浮遊粉じん質量濃度、二酸化炭素の各測定点の平均値を示す。東京の場合、測定点1で午前午後ともに浮遊粉じんと二酸化炭素の量が比較的高い値を示している。これは、喫煙可能な飲食店が近くにあり、たばこの煙が測定に影響を与えたことが考えられる。

測定点9では、特に午前中浮遊粉じん、二酸化炭素の値が高かった。これは、測定点9が駅の手前であり、通行人数に関係したと考えられる。他の都市でも、喫煙スペースの近くや、通行人数が多い駅の手前や出入り口の階段の近くなどでは、高い値を示した。

4. 3 粒径別個数濃度

図15に例として東京の粒径別個数濃度の各測定点の平均値を示す。平均的に午前中の値が午後後の値を上回り、連続測定点の時系列変化と関係している結果が得られた。小さい粒子は喫煙スペースの近くの測定点、大きい粒子は連続測定点と同じ通路であり、通行人数が多い測定点で高い値を示した。小さい粒子はタバコの影響を受け、大きい粒子は人間の激しい動作により発じんすることが分かった。

4. まとめ

地下街は通路という性格が高いが、人間の通行や動作により、一般的な事務所や商業建築物と比べても浮遊粉じんの濃度が高いことが分かった。また、巡回多点測定により、浮遊粉じんと二酸化炭素は、喫煙可能な飲食店付近や地下鉄駅改札口付近で高い値を示すことが明確となった。

相対湿度に関してはすべての地下街において管理基準を維持できていない測定点が多数見つかった。加湿量が不十分である事が原因であり、今後見直しが必要である。気流や温度に関しては、値は高いが地下街の通路部は居住スペースではない事を考え合わせると、許容範囲であると考えべきであろう。

粒子の粒径別個数濃度に関しては、小さい粒径のものは、出入り口などから侵入し、外気からの影響が大きく、 $5.0\mu\text{m}$ 以上の粒子は室内からの発じんの影響が大きいことが分かった。

【参考文献】

- 鈴木孝明：地下街における粒子状汚染物質の実態調査、芝浦工業大学学士論文、2008
- 永吉敬行：医療施設におけるガス状物質の実態調査と快適性に関する研究、芝浦工業大学学士論文、2006

【謝辞】

本研究は、平成21年度厚生労働科学研究費補助金（健康科学研究事業）による「建築物の特性を考慮した環境衛生管理に関する研究（研究代表者：大澤元毅）」によって行った。記してここに感謝の意を表する。

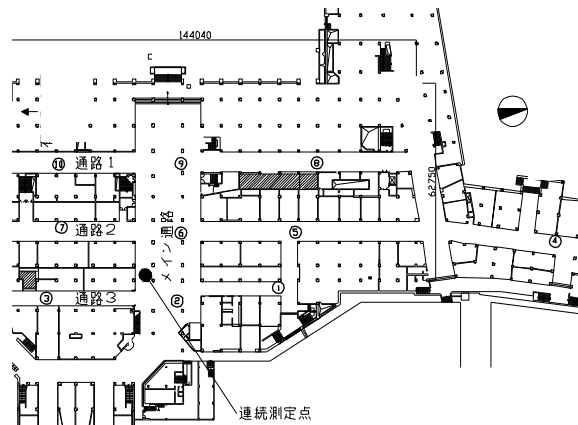


図12 測定点見取り図

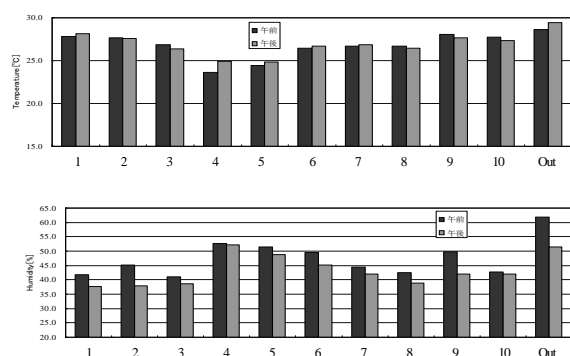


図13 温度・相対湿度 巡回測定

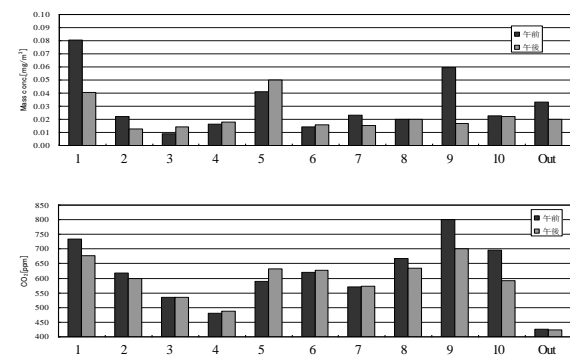


図14 浮遊粉じん質量濃度・二酸化炭素 巡回測定

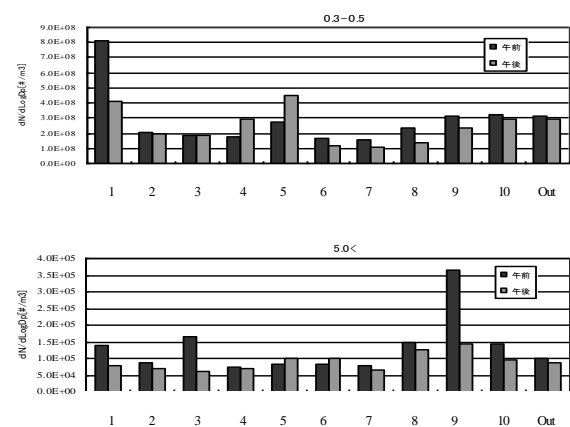


図15 粒径別個数濃度 巡回測定