

# 地下街における粒子状汚染物質の実態調査

## Actual Condition Survey of Particulate Pollutant in Underground City

J05066-4 鈴木 孝明

### Abstract

As for the underground city, enough management of the air environment is feared about the city part where the population and traffic are overcrowded because it is constructed a lot under the soil. Moreover, the influence on health of a slight particle becomes a problem by the epidemiology research in recent years. A particulate contaminant of the underground city is investigated by the actual condition survey in this investigation. As a result, it clarified influenced from the number of passers the suspending dust did not exceed the reference reading. Moreover, it was shown that there was a difference in the reading of the particle size distinct number concentration by the difference of the usage in the building in the comparison with the office building.

Keywords : 地下街 (underground city) 浮遊粉じん (suspending 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 3000m<sup>2</sup>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。地下街に関しても様々な用途で利用される場であるが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。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、さらに地下という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。

この管理基準として、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/m<sup>3</sup>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。

そこで本研究では、都市部に位置する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とともに、その関係性を検証することを目的とする。なお、過去に測定された特定建築物に指定されている事務所ビルとの比較を行い、使用用途による検討も行う。

### 2. 調査項目

本研究は、都内にある地下街にて室内外の2カ所における実測調査を行った。調査概要を表2に示す。なお、過去

表1 建築物衛生法7項目

| 項目       | 基準値                                  |
|----------|--------------------------------------|
| 浮遊粉じん    | 概ね10μm以下の粒子が0.15mg/m <sup>3</sup> 以下 |
| 一酸化炭素含有率 | 10ppm                                |
| 二酸化炭素含有率 | 1000ppm                              |
| 温度       | 17℃～28℃                              |
| 相対湿度     | 40%～70%                              |
| 気流       | 0.5m/s                               |
| ホルムアルデヒド | 0.1mg/m <sup>3</sup> 以下              |

表2 調査概要

| 建物    | 所在地 | 調査日        | 測定時間        | 外気側測定場所 |
|-------|-----|------------|-------------|---------|
| 地下街   | 東京  | 2008.11.28 | 10:00-18:00 | 地上      |
| 事務所ビル | 東京  | 2006.8.29  | 10:00-18:00 | エントランス  |

表3 測定項目

| 測定項目      |         | 測定機器                                 | 測定時間       |
|-----------|---------|--------------------------------------|------------|
| 浮遊粉じん     | 個数濃度    | LPC                                  | 1回1分間の連続測定 |
|           | 質量濃度    | デジタル粉じん計                             | 1回1分間の連続測定 |
| 一酸化炭素の含有率 | IAQモニター |                                      | 1回1分間の連続測定 |
| 二酸化炭素の含有率 |         |                                      |            |
| 温度        |         |                                      |            |
| 相対湿度      | クリモマスター |                                      | 1回1分間の連続測定 |
| 気流        |         |                                      |            |
| その他調査項目   |         | 内容                                   |            |
| アンケート調査   | 建築概要    | 竣工年月日、延床面積                           |            |
|           | 空調設備概要  | 空調方式、換気方式、フィルタの種類・効率、設計給気量、設計外気取入量   |            |
|           | アクティビティ | 通行者人数(地下街)<br>在室者数、PC台数、プリンタ数(事務所ビル) |            |

に実測で行われた事務所ビルの調査概要についても併せて示す。地下街の室内の測定場所は人通りの多い地下道で行い、事務所ビルは事務室で行われた。調査項目は浮遊粉じんを中心に、建築物衛生法の管理対象である7項目の内、ホルムアルデヒドを除く6項目についても測定を行った。浮遊粉じんの質量濃度についてはデジタル粉じん計(以下、DDC)、個数濃度についてはレーザーパーティクルカウンター(以下、LPC)を用いて測定を行った。浮遊粉じんの測定項目及びその他の測定項目について表3に示す。また過去の実測で測定された事務所ビルの測定項目についても併せて示す。

### 3. 測定結果の比較・検討

#### 3. 1 質量濃度

図1に浮遊粉じんの質量濃度の時系列変化を示す。建築物衛生法の管理基準  $0.15\text{mg}/\text{m}^3$  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。室内に関しては、12:00~13:00にかけて高くなる傾向にある。これは昼食の時間帯ということもあり、多くの人が地下街の飲食店を利用しているため、粉じんが多く発生していることが考えられる。室外に関しては、全体的に室内よりも高い値を示しているが、これは測定点が交通量の多い道路に面しており、排気ガスの粒子による影響が考えられる。

図2に10分毎の質量濃度と通行人数の時系列変化の比較を示す。これを見ると2つの値に変動の追従性が見られ、質量濃度と通行者数に関係性があることが確認できる。しかし、14:30では通行者数が少ないにもかかわらず質量濃度が高い値を示している。これは地下街に多く存在する店舗からの発生や外気からの影響が考えられる。今後は店舗の営業終了後や夜間における測定及び検証が必要だと考える。

#### 3. 2 粒径別個数濃度

図3に浮遊粉じんの粒径別個数濃度の時系列変化を示す。時系列変化の傾向として、粒径  $0.3\sim 2.0\mu\text{m}$  までの範囲では室内よりも室外の方が高い値を示している。これは、交通量の多い道路に測定点が面しており、 $1.0\mu\text{m}$  以下の粒子から構成されている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。また、これらの範囲の室内、室外の濃度の変動に追従性が見られることから、室内の発じんよりも空調を介した外気からの影響が大きいことが考えられる。反対に  $2.0\sim 5.0\mu\text{m}$ 、 $5.0\mu\text{m}$  以上の粒径範囲は室内の方が高い値を示していることから、室内での発じんの影響が大きいことが考えられる。今後は、質量濃度と同様に空調を介した外気からの影響等を詳しく調べるために、店舗の営業終了後や人通りの少ない夜間においても測定及び検証を行う必要がある。

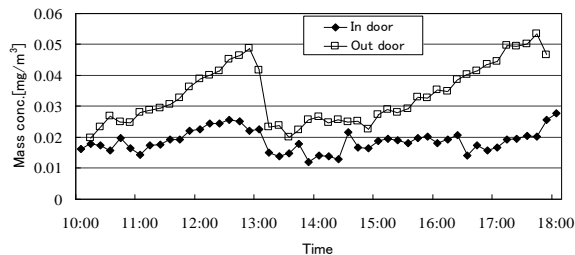


図1 浮遊粉じんの質量濃度

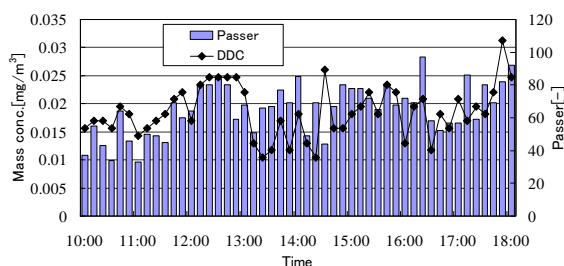
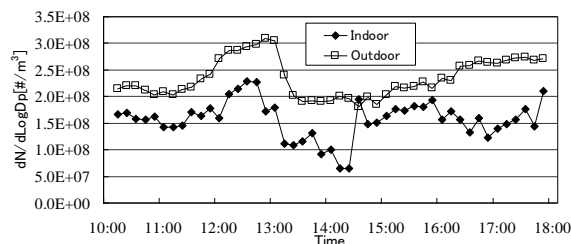
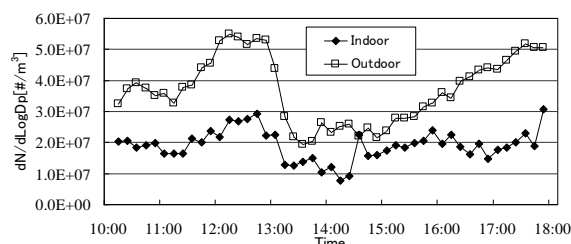


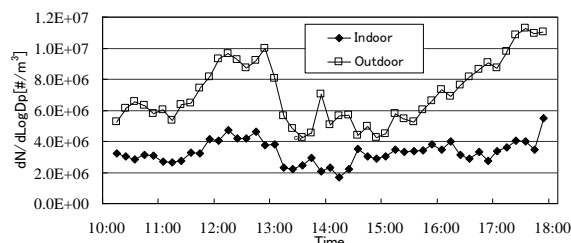
図2 質量濃度と通行者数の比較



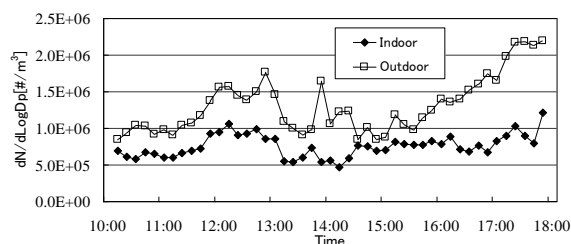
a) 粒径  $0.3\sim 0.5 [\mu\text{m}]$



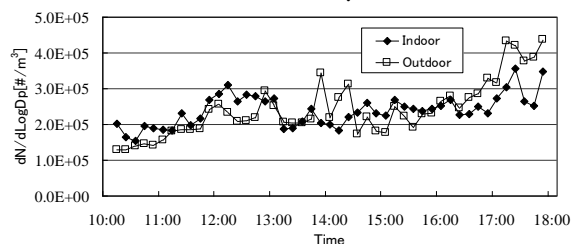
b) 粒径  $0.5\sim 0.7 [\mu\text{m}]$



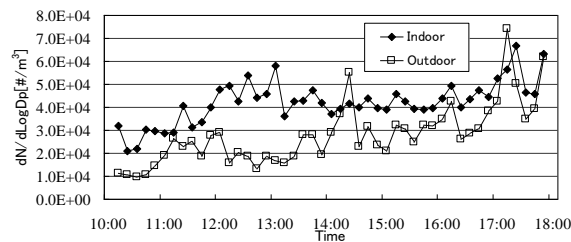
c) 粒径  $0.7\sim 1.0 [\mu\text{m}]$



d) 粒径  $1.0\sim 2.0 [\mu\text{m}]$



e) 粒径  $2.0\sim 5.0 [\mu\text{m}]$



f) 粒径  $5.0 < [\mu\text{m}]$

図3 浮遊粉じんの粒径別個数濃度

#### 4. 地下街と事務所ビルの比較

##### 4. 1 質量濃度

図4に地下街と事務所ビルにおける質量濃度の比較を示す。事務所ビルについても地下街と同様、管理基準0.15mg/m<sup>3</sup>を大きく下回っている。また全体的に地下街の方が高い値を示し、変動が激しいことがわかる。一方、事務所ビルは低い値を示し、比較的安定している。また最大でも0.01mg/m<sup>3</sup>以下を示しており、室内の浮遊粉じんの低濃度化が視える。この結果の相違の原因として事務所ビルでの業務がデスクワークであり、人の動きが少ないのに対し、地下街は利用者が多く、人が行き交う場であるので、事務所ビルと比べると、人の動きによって発生する粉じんが多いことが考えられる。

##### 4. 2 粒径別個数濃度

図5に地下街と事務所ビルにおける粒径別個数濃度の比較を示す。0.3~0.5μmの粒径範囲では事務所ビルの方が高い値を示している。また表4に粒径別個数濃度の各平均値のI/O比と時系列変化の相関を示す。0.3~0.5μmに関しては相関係数を見ると、地下街に比べ、事務所ビルの方が低くなっていることから、パソコンやプリンタといったOA機器等による室内での発じんが影響していることが考えられる。また、0.7~1.0μm、1.0~2.0μmの粒径範囲では地下街より事務所ビルの方が低く変動も少ないことがわかる。このことから、事務所ビルの室内では、これらの粒径範囲の発じんが少なく、さらにフィルタでの捕集により外気からの影響を受けづらいことが考えられる。I/O比に関しては、地下街と事務所ビルとでは大きな差が出ており、事務所ビルは全体的に低い値を示しており、空調機によって管理がなされていると言える。また、地下街のI/O比が地下街に比べ高くなった原因として、地下街を利用する人数が非常に多いこと、さらに測定時の天候が雨であったため、晴天時よりも粉じんが浮遊していなかったことが考えられる。今後、天候等の測定条件を揃えとともに、細かい室内活動の調査を行い、浮遊粉じんの発じん源となる要因を特定し検証を行っていく必要があると考える。

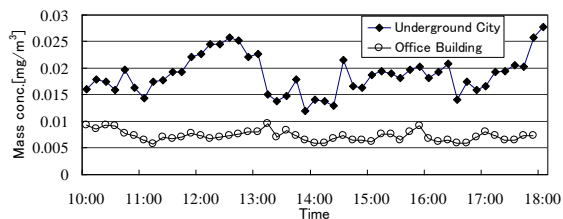


図4 地下街と事務所ビルの比較 (質量濃度)

表4 地下街と事務所ビルにおけるI/O比と室内外の相関

| 建物    | 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< |
| 地下街   | I/O  | 0.67     | 0.52    | 0.47    | 0.59    | 1.00    | 1.51 |
|       | 相関係数 | 0.46     | 0.61    | 0.57    | 0.54    | 0.59    | 0.51 |
| 事務所ビル | I/O  | 0.45     | 0.21    | 0.11    | 0.06    | 0.06    | 0.15 |
|       | 相関係数 | 0.16     | 0.15    | 0.10    | 0.12    | 0.07    | 0.07 |

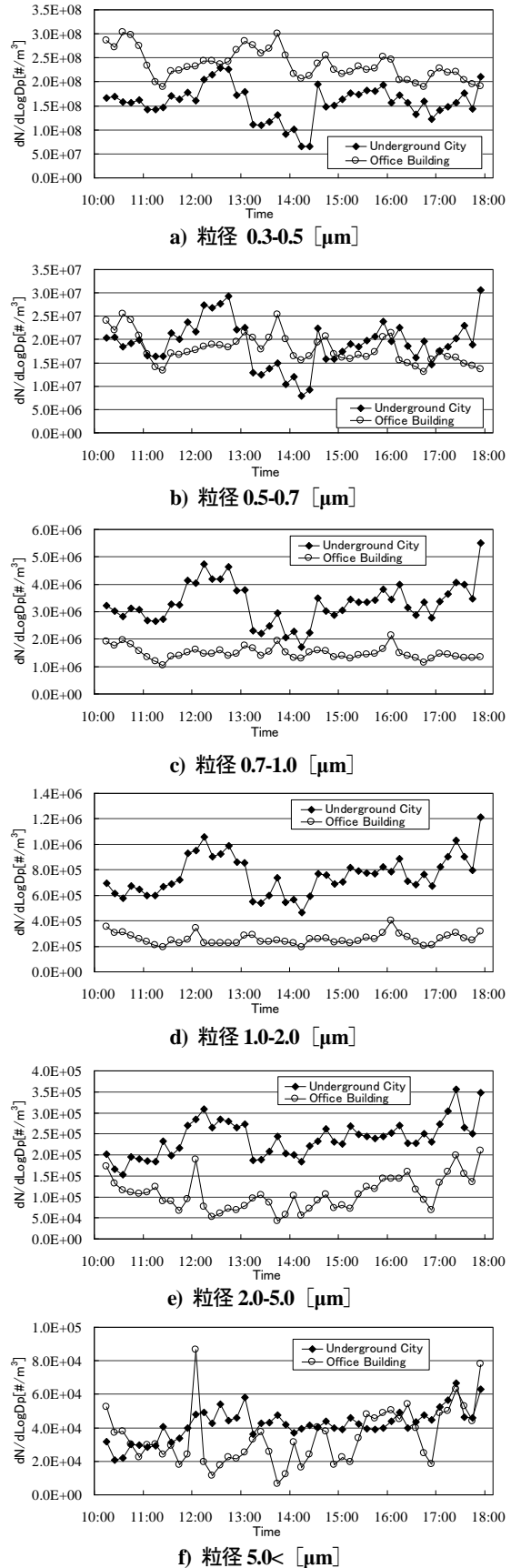


図5 地下街と事務所ビルの比較 (粒径別個数濃度)

## 5. 質量濃度と個数濃度の関係性の検証

### 5. 1 個数濃度の質量濃度への変換

先述した通り、これまで浮遊粉じんは建築物衛生法で質量濃度によって管理されてきた。しかし近年、粒径、個数濃度、密度等の知見が不可欠となっている。そこでLPCの粒径別個数濃度を質量濃度に換算し、DDCの質量濃度との比較を行い、質量濃度と個数濃度の関係性を検証する。

以下に個数濃度を質量濃度に変換する式 (eq.1) を示す。

$$M = \sum_i^n dM_i = \sum_i^n \frac{4}{3} \pi \left( \frac{Dp_i}{2} \right)^3 \times \rho \times dN_i \quad \dots eq.1$$

|        |                              |
|--------|------------------------------|
| $M$    | 質量濃度 [mg/m <sup>3</sup> ]    |
| $dM_i$ | 粒径別質量濃度 [mg/m <sup>3</sup> ] |
| $Dp_i$ | $i$ 番目の粒径 [μm]               |
| $\rho$ | 密度 [g/cm <sup>3</sup> ]      |
| $dN_i$ | 粒径別個数濃度 [#m <sup>3</sup> ]   |

なお、すべての粒子が粒径に関係なく一様に球形であり、かつ密度  $\rho$  が 1.0 [g/cm<sup>3</sup>] (=10<sup>9</sup> [mg/m<sup>3</sup>]) であると仮定し、質量濃度を算出する。

### 5. 2 質量濃度と個数濃度の比較

図6～9に地下街と事務所ビルのDDCとLPCの結果を示す。地下街、事務所ビルともに室内において時系列変化に追従性が見られるものの、LPCから算出した質量濃度よりDDCの値の方が高い値を示している。これはLPCには測定範囲の下限があり、0.3μm以上の大きさの粒子を測定対象としていることが原因として挙げられる。このことからLPCでは測定不可能な非常に微小な粒径範囲の粒子の影響が大きいことが考えられる。室外に関しては、地下街は室内と同様にDDCの方がLPCより高い値を示しているのに対し、事務所ビルの室外はほぼ同じ程度の値を示している。この要因として、地下街の室外の測定場所が交通量の多い道路近傍であったことが考えられる。先述したように自動車から排出される粒子は極めて微小な粒子であり、事務所ビルの室外に比べ、LPCでは測定出来ない超微粒子と呼ばれる粒子がより影響を与えていることが考えられる。

## 6. まとめ

今回の実測調査により、地下街における浮遊粉じんは管理基準を満たしており、十分に管理されていることがわかった。また浮遊粉じん量と利用者数との間に明確な関係性があることが判明した。また地下街と同じく特定建築物である事務所ビルとの比較により、粒径別個数濃度に関して相違があることがわかった。さらに質量濃度と個数濃度の検証により、超微粒子による質量濃度が影響を与えている可能性が確認できた。今後の課題として、店舗終了後等の夜間における測定、超微粒子を含む粒径範囲の個数濃度の測定及び測定データの蓄積が挙げられる。

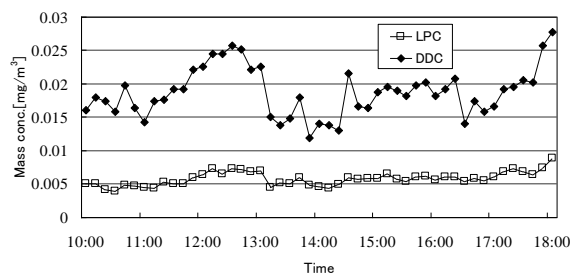


図6 地下街・LPCとDDCの比較（室内）

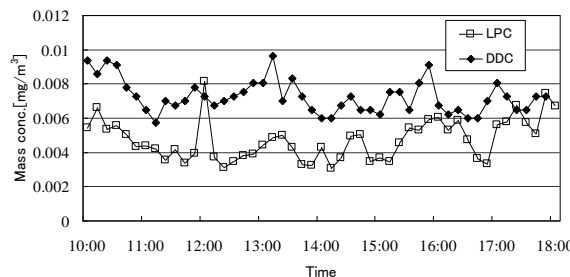


図7 事務所ビル・LPCとDDCの比較（室内）

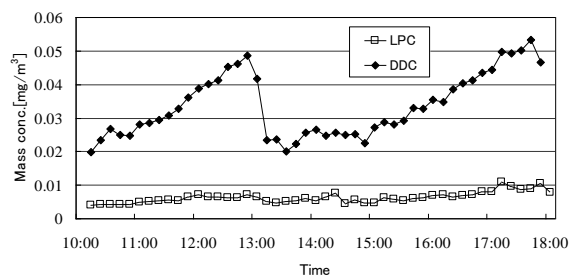


図8 地下街・LPCとDDCの比較（室外）

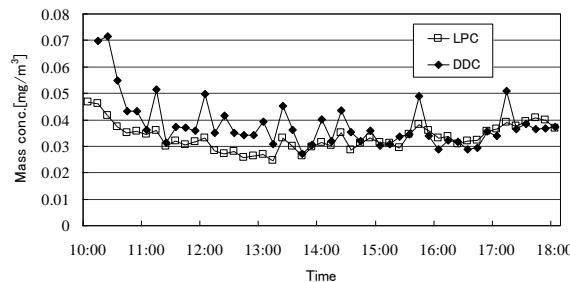


図9 事務所ビル・LPCとDDCの比較（室外）

### 【参考文献】

- 1) 日本エアロゾル学会:エアロゾル用語集、京都大学学術出版会、2004.8
- 2) ウィリアムC.ハインズ、早川一也 監訳:エアロゾルテクノロジー、井上書院、1985.4
- 3) 根本智之 他:室内浮遊粉じんの個数濃度と質量濃度の関係に関する考察、第26回空気清浄とコンタミネーションコントロール研究大会予稿集、社会法人日本空気清浄協会、2007
- 4) 野添よう子:事務所ビルにおける浮遊粉じんの実態調査、芝浦工業大学学士論文、2006

### 【謝辞】

本研究は、平成20年度厚生労働科学研究費補助金（健康科学研究事業）「建築物における環境衛生の維持管理に関する研究（代表：柳宇）」によって行った。記してここに感謝の意を表する。