

SPM 計測における迅速測定法に関する研究
 - 逐次検定法の適応 -

逐次検定 SPM 建築物衛生法
 検定統計量 平均粒子濃度

AJ16091 林田 航
 指導教員 西村 直也



1. はじめに

建築物衛生法において、建築物環境衛生管理基準の空気環境に関する項目に浮遊粉じんの質量濃度が規定されている。また、浮遊粉じんの中で、「概ね粒径 10[μm]以下の浮遊粒子状物質 (SPM) の質量濃度は 0.15[mg/m³]以下」とされている。SPM は、粉じん計で実際に計測すると 0.008~0.012[mg/m³]程度と現状でもほとんどの建物で同法規定の数値を大幅に下回りクリアしている。現状の SPM 計測方法においては、実測時の濃度の度合いに関わらず判定に過剰なサンプリング空気と計測時間を要す問題点が生じている。また、定期的な立入り調査の際には、通常 5 分程度の計測を行って、その平均値が基準値を下回っていれば合格と判断するケースが多いが、このサンプル数 (サンプル時間) は特に統計的に有意な値とは言えない。従って、この方法で得られた判断も、数学的な意味において十分な判断とは言えない。

この問題に対し、採取した少数データで対象の全体像を推定する統計的検定の一つに逐次検定という方法があり、空間の清浄度試験に有効な検定として逐次検定法が ISO14644 にも採用され清浄度評価において、まえもって決めることなく一定の空気量をサンプリングする毎に検定を行う為、浮遊微粒子の計測時間を大幅に短縮出来る。SPM 計測についても同じ検定理論を用いた統計的処理を行うことで、迅速測定法として適切な計測時間を算出できると考えられる。

本研究では、逐次検定法を用いる事で迅速かつ統計的に優位な合否判定モデルを構築する。また、モンテカルロ・シミュレーションによりその有効性を明らかにし、建築物衛生法における SPM の質量濃度基準に適切な計測時間を明らかにする事を目的とする。

2. 研究方法

まず、統計的検定手順を踏み、SPM 計測に逐次検定を応用する。統計的検定では、否定したい主張を帰無仮説 (H_0) と呼び、検定の軸をつくる。また、帰無仮説が成り立っていないと判断した時、成立する主張を対立仮説 (H_1) と呼ぶ。ここで、統計用語で 2 つの主張は、

H_0 が棄却 (REJECT) される $\Leftrightarrow H_1$ が採択 (ACCEPT) されるという関係性がなりたっている。この 2 つの主張のどちら

が正しいかを判断する為に標本 (観測値) から算出された統計量を検定統計量 T といい、統計判定を担っている。

逐次検定もこの手順に沿って検定が行われる為、SPM 測定の場合判定を行うモデルの算出理論を説明する。

逐次検定の帰無仮説、対立仮説をそれぞれ確率密度関数 f_0, f_1 と考え、測定は継続的にサンプリングされた一定量の空気中に含まれる SPM の濃度がポアソン分布に従うものとする。

逐次検定では、観測値の列 x_1, x_2, \dots を独立に 1 つずつ採取し、観測値をとる度に次の 3 つの決定のうちいずれか 1 つを行う。m 番目の観測値 x_m ($m=1, 2, \dots$) に対し、

$$A < \frac{f_1(x_1) \cdots f_1(x_m)}{f_0(x_1) \cdots f_0(x_m)} < B, \frac{f_1(x_1) \cdots f_1(x_m)}{f_0(x_1) \cdots f_0(x_m)} \leq A, \frac{f_1(x_1) \cdots f_1(x_m)}{f_0(x_1) \cdots f_0(x_m)} \geq B$$

をそれぞれ、m+1 番目のサンプリング (Undefined)、合格 (Accept)、不合格 (Reject) の判断をとる。このとき、 x_m まで観測するならば、

$$A < \frac{f_1(x_1) \cdots f_1(x_m)}{f_0(x_1) \cdots f_0(x_m)} < B \rightarrow A < e^{m(\lambda_0 - \lambda_1)} \cdot \left(\frac{\lambda_1}{\lambda_0}\right)^{\sum_{i=1}^m x_i} < B$$

有意水準を $\alpha = \beta = 0.05$ とすると、良い近似値として

$$A \cong \frac{\beta}{1 - \alpha}, B \cong \frac{1 - \beta}{\alpha}$$

自然対数を取り、 $\sum_{i=1}^m x_i$ を検定統計量 H_m 、境界を考慮して、

$$\begin{cases} H_m = \frac{\log\left(\frac{\beta}{1 - \alpha}\right) - m(\lambda_0 - \lambda_1)}{\log\left(\frac{\lambda_1}{\lambda_0}\right)} = m \cdot \frac{\lambda_1 - \lambda_0}{\log \lambda_1 - \log \lambda_0} + \frac{\log\left(\frac{\beta}{1 - \alpha}\right)}{\log\left(\frac{\lambda_1}{\lambda_0}\right)} \\ H_m = \frac{\log\left(\frac{1 - \beta}{\alpha}\right) - m(\lambda_0 - \lambda_1)}{\log\left(\frac{\lambda_1}{\lambda_0}\right)} = m \cdot \frac{\lambda_1 - \lambda_0}{\log \lambda_1 - \log \lambda_0} + \frac{\log\left(\frac{1 - \beta}{\alpha}\right)}{\log\left(\frac{\lambda_1}{\lambda_0}\right)} \end{cases}$$

このように 2 つの直線の方程式になる。

また、検定に重要な λ 値を定義する。本研究では SPM の濃度規定は「質量濃度が 0.15[mg/m³]以下」が条件である。この値が、検定の不合格ラインを決める値となる。議論の単純化の為に較正係数を $K=1.0$ とし、有意水準や検定基準の信頼上限を考慮して、

$$\lambda_0 = 0.15 = 150[\text{cpm}], \lambda_1 = 150 \times 0.9 = 135[\text{cpm}]$$

2 つの直線の方程式に各数値を代入し、 $\sum_{i=1}^m x_i = H_m$ を縦軸に、 m を横軸にとって、グラフを作成する。

図 1 に示した通り観測値がとられるに従い m に対して H_m をプロットする。標本点 (m, H_m) ($m=1, 2, \dots$) の列が図中

- (1) 2直線にはさまり帯状領域に落ちる限り観測継続
- (2) 左上側の領域に落ちたら観測中止し不合格
- (3) 右下側の領域に落ちたら観測中止し合格

計測器による SPM 吸引量を $[\times 10^{-3} m^3/min]$ と想定すると、横軸にサンプリング時間[分]、縦軸に SPM 総カウント値 [cpm]となる。以上より、逐次検定を応用し SPM 測定における逐次検定評価線図を作成した。

次に、一様乱数から逆関数法を用いて、所望の分布関数に従う乱数(確率変数)に計算機によるモンテカルロ・シミュレーションで変換し、逐次検定評価線図に落とし込み検定を行った。想定した SPM の各平均粒子濃度 λ における逐次検定を 1000 回シミュレーションし、最大観測時間を 30 分とした。

3. 各平均粒子濃度における逐次検定結果

(1) 平均粒子濃度と合否判定確率

図 2 より逐次検定評価線図を算出した $\lambda=135\sim 150$ [cpm]付近で合否確率に変動があるものの、それ以外の平均粒子濃度では正確に判定できているのが分かる。また、30 分の検定で判定不能となる確率は合否が割れる平均粒子濃度帯でも 1%未満と極めて低いといえる。

(2) 逐次検定による SPM 計測平均判定所要時間

図 3 に各平均粒子濃度の検定にかかる平均判定所要時間を示した。逐次検定評価線図を算出に使用した値から離れれば離れるほど、平均判定所要時間は短くなった。今回の検定結果では、平均粒子濃度 $\lambda=0\sim 100$ [cpm]では検定時間はおおよそ 1 分で終了できるといえる。現在の室内浮遊粉じん濃度の実態について、東京都で実施した立入検査の測定結果では、平均 0.009 ± 0.010 [mg/m^3] (λ =約 9[cpm])の為、普段われわれが利用している空間では統計的にも判定に 1 分程度しかかからな結果だった。

(3) 図 4 にそれぞれの λ の値に対する検定終了するまでにかかった時間の頻度を示している。グラフより、3 分以内で検定終えている頻度が高いといえる。 λ が大きければ大きいほど、また、小さければ小さいほど判定時間の頻度に差がでる傾向にある。

4. まとめ

- ・ SPM 計測にあたり、逐次検定を応用し建築物衛生法における SPM の質量濃度規定に適切な計測時間を統計的に明らかにした
- ・ 統計的に有意かつ迅速な SPM 質量濃度合否判定モデルを構築した
- ・ 普段われわれが使用している一般空間において、SPM 計測にかかる時間は 5 分以内であることは、今回逐次検定を用いて判定し統計的にも明らかとなる結果を得た

今後の検討課題としては、本研究では、既存の検定方法を応用し対象物の評価を行う理論式を作成しているが、今回使用した仮説は対立仮説に関して $\lambda=135$ と仮定したが、この値にはあまり根拠がない。その為、実験的要素

が評価線図の算出に含まれており、より良い評価線図を作成出来る余地があると考えられる。逐次検定法一般に、対立仮説の具現値の設定基準は無いとは言え、やはりこの点においても若干の議論が必要と思われる。

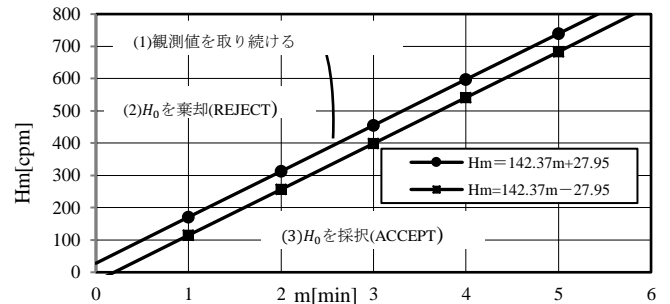


図 1 逐次検定による SPM 評価線図

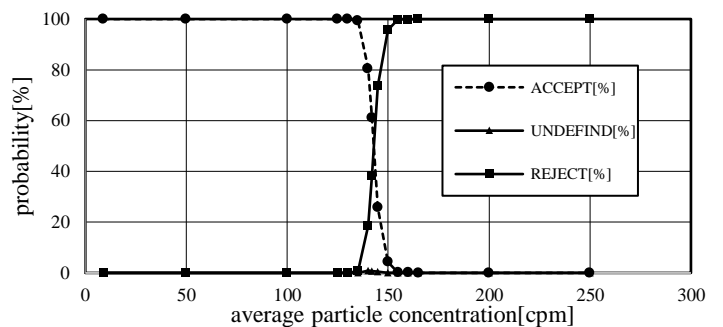


図 2 各平均粒子濃度と合格/判定不能/不合格確率

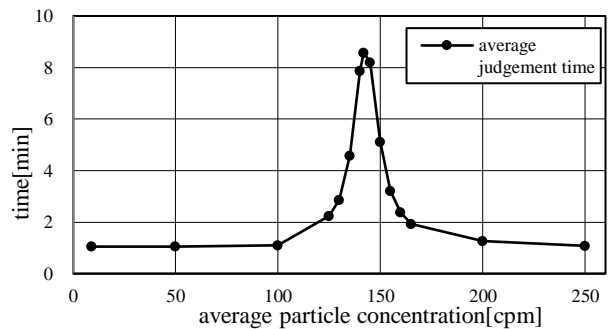


図 3 逐次検定法による平均判定所要時間

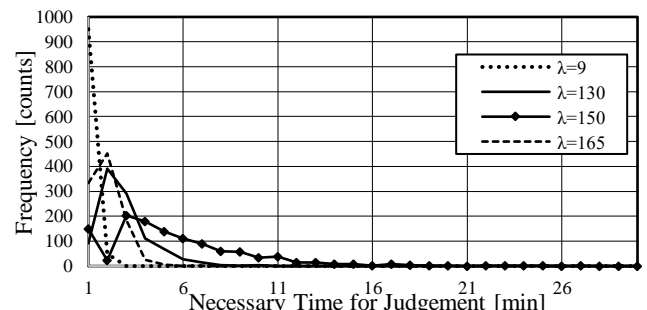


図 4 各判定必要時間に対する頻度

引用・参考文献

- 1) D.W.Cooper : A Sequential Sampling Statistics for Evaluating Low Concentrations、THE JOURNAL OF ENVIRONMENTAL SCIENCES、p33-36、1988.9
- 2) 西村直也：クリーンルーム性能評価における少数データの特性に関する研究、日本建築学会計画系論文集、p.133-156.1999