- 田・末永・長田：衛生化学 6, 94 (1958)； 3) 菰 233 (1959)； 6) L. McCabe： "Air Pollution"
田・末永・長田：衛生化学 6, 97 (1958)； 4) 日 (1952)； 7) M. Katz： Anal. Chem. 30, 1172
本薬学会：衛生試験法； 5) 末永：衛生化学 7, (1958).

普通室内環境における空中浮遊粒子の測定法 に関する研究 (IV)

塵埃撒布実験における塵埃の数と重量および細菌数の測定

国立公衆衛生院 末永 泉二

Studies on the Determination of Air-Borne Particles in Room Air (IV)

The Determination of Dust Counts, Weight and Bacterial Counts on Dusting Experiment

S. Suenaga (from the Institute of Public Health Tokyo)

多数集合場所などで発生する塵埃について調査を実施する前に、そのモデル実験として密閉室内に土粉塵および、ごみなどを撒布して、Cascade impactor, 労研式塵埃計および、電気集塵器によって浮遊塵埃を、また静電気式細菌捕集器および落下法によって浮遊細菌数を測定して、各測定値相互の関係などを検討した。

測定法は薬学会協定の衛生試験法、文献 2), 3) および第 1, 2 報に示した方法によって実施した。

1. 塵埃撒布の方法

塵埃撒布に用いた部屋は、容積約 16 m³ でほとんど密閉した。撒布に用いた塵埃は 200 メッシュのふるいを通過した関東表土および室内堆積塵であって、その比重は 2.1~2.2 である。

また空中雑菌を普通ブイヨンで培養したものを、水で数百倍にうすめたものを用いた。

撒布には殺虫剤用ダスターまたは噴霧器を用いた。

2. 発塵における浮遊粒子の沈降速度および粒径

(1) 粉塵の場合：発塵後の塵埃濃度および細菌数の経時変化を Fig. 1 に示す。

粉塵が沈降して撒布前の濃度にもどる時間は、各測定法について 1~1.5 時間であって、ほぼ同一である。撒布後の時間経過と濃度変化から、粒子の沈降速度すなわち測定時刻における平均粒径を推定して、これから各測定法が関係する粒子径についての濃度の割合を、算出したものを Table 1 に示す。

粉塵撒布実験においては、落下法による細菌数は主と

して約 5.5 μ 以上のものであり、静電気式細菌捕集器では、主として約 3.5 μ 以上のものとなっている。

電気集塵器による mg/m³ 値と Cascade impactor の A 段階とは、5.5 μ 以上が大部分であり、Cascade impactor の C 段階は、5.5 μ 以上のものが約半数である。

Cascade impactor の E 段階と労研式塵埃計とは、約 2.5 μ 以下のものが半数を占めている。

労研式塵埃計で捕集された粒子の平均粒径を、電気集塵器による重量濃度から計算すると⁴⁾、関東表土で 1.6 μ 、室内堆積塵で 2.1 μ であるから、粒子の個数全体についていえば、1~2 μ 前後のものが圧倒的に多いことになる。

単位時間、単位面積における落下細菌数と単位体積中の浮遊細菌数との比から、細菌粒子の沈降速度が求められ⁵⁾、これから細菌を含む粒子の粒径が算出される。すなわち細菌粒子の平均径は、15 $\pm$ 8 μ (平均沈降速度 120 cm/min) である。この値は、発塵時の塵埃濃度や発塵後の経過時間には、関係が認められない。

(2) 細菌浮遊液噴霧の場合：この場合にはいずれの実験でも、浮遊粒子の重量と数は、対照と比べて認め得るほどの増加を示さない。細菌数の変化は Fig. 2 に示すとおりである。

この実験で特に塵埃の混入を避けた場合、細菌を含む粒子の粒径は 7~11 μ に相当した。

3. 発塵時における各測定値間の比率

Cascade impactor の C 段階の計測値 c/L に対する

Fig. 1. Variation of dust and bacterial counts after dusting

Table 1. Distributing Proportions of Particle Sizes in Data by Each Method (%)

Diameter of particles calculated from settling velocity		> 5.5 μ	5.5~3.5 μ	3.5~2.5 μ	> 2.5 μ
Bacterial counts by settling plate method	I	80	16	4	
	II	75	14	9	2
Bacterial counts by electrostatic bacterial air sampler	I	33	50	17	
	II	27	37	33	3
Dust weight mg/m ³ by electrostatic dust sampler	I	80	12	8	
	II	56	32	8	4
Dust counts by cascade impactor A stage	I	82	10	8	
	II	78	22	7	3
Dust counts by Cascade impactor C stage	I	56	19	25	
	II	45	16	29	10
Dust counts by Cascade impactor E Stage	I	21	26	53	
	II	37	8	13	43
Dust counts by Rōken dust counter	I	15	45	55	
	II	25	1	23	51

Fig. 2. Variation of bacterial counts after atomizing of bacterial fluid

Cascade impactor A, E段階, 労研式塵埃計および静電気式細菌捕集器などによる測定値 a/L , e/L , p/L および $Bac. C./L$ の比率を求め, Table 2 に示す.

また Cascade impactor の各段階および労研式塵埃計に相当する平均粒径から, 粒子1個当りの重量を求め, これらとそれぞれの計測数 a , c , e および p から, 各段階の捕集塵埃重量 a_w , c_w , $e_w + p_w$ (p_w は p/L 値から Cascade impactor で計測される粒子数の和を差引いた数値から計算した塵埃重量値) を算出し, つぎに c_w に対する a_w および $e_w + p_w$ の比率 a_w/c_w および $\frac{e_w + p_w}{c_w}$ を Table 2 に示す.

a/c の値は重量濃度 mg/m^3 の変化に関係しないが, e/c および p/c の値は, いずれも mg/m^3 値が大きいのほど小さくなる.

また計算によって求めた重量値 a_w , c_w および $e_w + p_w$

Table 2. Ratio of Particle Counts and Particle Weight of Dust and Bacteria in Each Method

Exp. No.	mg/m^3	Bac. C./c	a/c	a_w/c_w	e/c	p/c	$\frac{e_w + p_w}{c_w}$
1	75.7	0.009	0.028	0.22	27	28	0.11
2	45.2	0.017	0.027	0.21	35	60	0.16
3	23.6	0.012	0.011	0.09	31	37	0.13
4	18.5	0.002	0.056	0.44	46	123	0.25
5	15.8	0.006	0.064	0.51	79	160	0.40
6	9.3	0.008	0.072	0.057	38	52	0.17
7	4.2	0.003	0.023	0.18	102	237	0.54
8	3.4	0.002	0.008	0.065	110	140	0.47
9	2.0	0.024	0.008	0.64	400	400	1.70
10	1.5	0.001	0.017	0.13	96	190	0.49
11	1.4	0.0004	0.0066	0.53	206	680	1.28
12	1.1	0.015	0.180	1.40	430	550	1.80
13	0.98	0.001	0.015	0.12	120	290	0.65
14	0.95	0.0007	0.088	0.70	250	790	1.03
15	0.55	0.0007	0.120	0.93	560	1200	2.90
16	0.45	0.0009	0.070	0.56	710	3360	5.30
Average	12.80	0.0064	0.058	0.36	203	518	1.08

の値については, mg/m^3 値が大きいの場合には, c_w 値が一般に大きい, mg/m^3 値が小さい場合には, 三者の値の相互関係は不定である.

4. 発塵に用いた塵埃中の細菌濃度

この実験に用いた塵埃中の細菌濃度を, 静電気式細菌捕集器による総細菌数と電気集塵器による塵埃重量値と

の比から求め, Table 3 に示す.

5. 発塵時における各測定値間の相関

Cascade impactor の各段階における測定値に対する, 労研式塵埃計による p/cc 値, 細菌数および重量値の相関図と相関係数とを Fig. 3, 4, 5 および Table 4 に示す.

Table 3. Bacterial Counts per 1 mg of Dusts

Exp. No.	Kanto surface earth		Deposited dust in room	
	Bac.C./mg	mg/m ³	Bac.C./mg	mg/m ³
I	1	580	15.8	9740
	2	310	4.2	9000
	3	330	1.0	5460
II	1	1610	18.5	6180
	2	4690	4.2	14900
	3	3220	1.5	17800
	4	820	0.8	3870
	5			2480
Average		1650	8680	

Table 4. Correlation (r) in Each Method

Cascade impactor	mg/m ³	Röken p/cc	Total Bac.C./100L	Bac.C. by settling plate
A	0.98	0.79	0.83	0.84
B	0.93	0.75	0.88	0.83
C	0.86	0.77	0.89	0.88
mg/m ³	—	0.80	0.85	0.85
Röken p/cc	—	—	0.58	0.62

Fig. 3. Relation between mg/m³ of dusts and p/L by cascade impactor **Fig. 4.** Relation between bacterial counts and P/L by cascade impactor

Fig. 5 Relation between bacterial counts and mg/m^3 , p/cc of dusts

Fig. 6. Relation between bacterial counts by settling plate methods and total bacterial counts by electrostatic bacterial air sampler

これらの数値の間には、すべて有意な相関がある。しかし細菌数と労研式塵埃計による p/cc 値との相関性は大きくない。

室内堆積塵を発塵させた場合については、細菌数の Cascade impactor の A 段階または mg/m^3 値に対する関係は、ほぼ同一線上にある。

静電気式細菌捕集器による総細菌数から、落下細菌数を差引いたもの、すなわち浮遊細菌数は落下細菌数とよく相関する (Fig. 6)。

考 察

多数集合場所における発塵のモデル実験として、粉塵を撒布した場合、各種の測定法によって塵埃濃度および細菌数の変化を測定した。各測定値は、それぞれ粉塵粒子の径によって測定の感度が異なるはずであるが、この撒布実験では、各測定値において粉塵が沈着して、撒布

前の濃度にもどる時間は、ほぼ一致して 1~1.5 時間であるから、これを粒子の沈降時間と見なせば、約 2μ 以上の粒子 (比重約 2.1~2.2) が測定値の変化に主として関係していることになる⁶⁾。しかし 労研式塵埃計では、塵埃撒布による塵埃数増加の割合が小さいので、1~ 2μ 以下の沈降し難い微粒子が、測定値の主体をなしているようである。

細菌を含む粒子は、 15μ 前後であって、これは発塵後の時間経過に関係がないことから、常にこれらが大部分塵埃に付着した大きい粒子として存在することが推定される。

細菌浮遊液を撒布したような場合、塵埃の重量値と計数値はほとんど増加しない⁷⁾。これは 粒子中の細菌濃度がきわめて高い場合で、このような例では、細菌濃度と塵埃濃度との各測定値は相関しない。

浮遊粒子の各粒径群における粒子数の割合は、一般に発塵量の大きいほど、粗粒子群の存在割合が大きく、微粒子の存在割合が小さくなる。また浮遊粒子の各粒径群における重量濃度の割合は、一般に発塵量の大きい場合には、ほぼ $3.5\sim 7\mu$ の径に相当する粒子群が最も大きい部分を占め、発塵が小さい場合には、さらに 1μ 前後の粒子も重量値に占める割合が大きくなる。

塵埃中の細菌濃度は、塵埃の種類および発塵の状態によっても、違った値が得られるはずであるが、発塵が最も大きい例において細菌濃度が低いのは、測定原理と測定技術によるものであろう。この実験によって、各測定法による塵埃濃度の経時変化、すなわち粒子の沈降速度の差違から、各測定法が浮遊粒子の大きさによって、それぞれ感度が異なることがわかるが、粒径の大きい粒子に対する感度から順位づけると、つぎのようになる。

① 落下法による細菌数測定法, ② Cascade impactor A, ③ 重量法, ④ 総細菌数測定法, ⑤ Cascade impactor C, ⑥ Cascade impactor E, ⑦ 労研式塵埃計.

各測定法による測定値間には, すべて有意の相関を示すが, 一定条件下の実験であるから当然であろう. 特に一種類の塵埃については, 総細菌数が Cascade impactor A の値と重量値とに鋭い回帰を示している.

また総細菌数から落下細菌数を差引い値, すなわち浮遊細菌数は, 落下細菌数と高度の相関を示すことから, 両方で測られる細菌粒子の粒径について, 本質的な差異がないことも推定できる.

本研究に当り, 協力を得た青木技官, 測定機器の使用に御便宜を賜った三共株式会社に謝意を表し, また種々御助言を戴いた孤田部長および東京大学薬学部浮田教授に深謝する.

文 献 1) 日本薬学会 : 衛生試験法 ; 2) 孤田・末永 : 衛生化学 6, 1 (1958); 3) 孤田・末永・長田 : 衛生化学 6, 94 (1958); 4) 松藤 : 労科 26, 121 (昭 25); 5) W.F. Wells : Air-borne Contagion and Air Hygiene (1955); 6) P. Drinker : "Industrial Dust" (1957); 7) Topley, Wilsons : "Principles of Bacteriology and Immunity" (1955).