

降下煤塵量と降水量の間の関係について (V)

太田 洋・佐野 慄・市川俊子*・坪井 勇*

Relation between the Dust-fall and Rain-water Quantity Both Measured by a Deposit-gauge Assembly (5)

Hiroshi OHTA, Isamu SANNO,
Toshiko ICHIKAWA and Isamu TSUBOI

In the first half of the present report, we have reviewed our calculation performed aiming at the collection efficiency (ϵ) of a rain-drop for a dust-particle and further, the amount (K) of air-suspended dust, a portion of which might be scavenged by rain-fall ; in the course of calculation, we employed an approximation-including equation (denoted by (4) in text) and utilized the data of dust-fall and rain-water quantity obtained through a deposit-gauge net-work.

In the latter half, we have derived a straightforward, or approximation-not-including equation (denoted by (5) in text) and have applied it to a number of instances ; explicit as the equation is, it is rather involved from the point of practical use.

The results of the calculation made by dint of the two equations (4) and (5) are shown in Table 4. The summary of the findings is as follows : With regard to the magnitudes of ϵ and K, they are each almost the same independently of the equation employed, ϵ being of the order of 10^{-2} and K being as large as $3\sim 4$ t/km² · mo. There is, however, seen a clear difference between the two equations so far as the number of the instances to which the calculation proved applicable is concerned, equation (5) definitely surpassing equation (4).

いとぐち

筆者らは、先に、本シリーズ報告の第1報¹⁾に於て愛知県春日井市内16個所に設置の降下煤塵計による煤塵総量 (M, t/km² · 月) と降水量 (V, l/月) の測定成績 (昭和57年度) の間の関係を検討して数式的に表わし、この結果を踏まえて雨滴の煤塵粒子に対する捕収効率 (ϵ) 及び降雨により洗い落とされるべき、空气中浮遊の煤塵量 (K, t/km² · 月) の計算式を導き、これを上記春日井市の煤塵量と降水量

の測定成績に適用して捕収効率 (ϵ) 及び浮遊煤塵量 (K) を算出、それぞれ、 10^{-2} の桁及び3程度の大きさのものであることを知ったが、続いて第2報²⁾に於ては春日井市及び三河湾沿岸地域 (昭和58年度) について計算し、更に第3報³⁾に於て春日井市、広島県大竹市及び山口県岩国市 (昭和59年度) を、又、第4報⁴⁾に於ては春日井市 (昭和60及び61年度)、北海道釧路市及び愛知県渥美郡渥美町 (昭和61年度) に適用して捕収効率及び浮遊煤塵量を算出し、総べてを通じ、第1報と同様に 10^{-2} の桁及び3前後のも

応用化学科

* 春日井市環境分析センター

表1 測定成績 (昭和61年度 春日井市)
M: 降下煤塵量 (t/km²・月) V: 降水量 (l/月)

年月 調査地点	61 4	5	6	7	8	9	10	11	12	62 1	2	3	平均 M、V
1 M	3.2	2.8	2.9	—	—	—	2.0	2.1	2.2	1.6	3.2	4.1	2.7
1 V	12.0	11.4	10.3	—	—	—	2.1	2.1	5.0	5.9	1.9	13.1	7.1
2 M	2.3	2.2	2.1	—	0.8	1.9	1.6	1.5	1.3	1.5	1.6	3.3	1.8
2 V	10.9	10.3	9.4	—	0.0	4.8	1.8	2.3	5.1	5.2	1.6	12.9	5.8
3 M	2.2	2.5	2.3	—	0.9	2.3	1.4	1.4	1.1	1.6	1.9	2.3	1.8
3 V	11.3	10.6	9.8	—	0.0	4.7	2.2	2.3	5.0	5.0	1.6	11.8	5.8
4 M	2.2	2.0	1.5	—	0.7	1.4	1.4	1.1	1.4	1.1	1.0	3.3	1.6
4 V	10.3	9.5	8.4	—	0.0	4.6	2.3	2.3	4.7	4.1	1.5	12.6	5.5
5 M	2.9	2.7	2.4	—	1.0	2.2	1.6	1.5	1.4	1.8	2.1	3.0	2.1
5 V	10.9	10.2	9.5	—	0.0	4.1	2.1	2.0	5.0	4.8	1.4	12.8	5.7
6 M	3.2	2.9	3.3	—	1.9	2.0	1.9	1.4	1.4	1.6	1.8	2.7	2.2
6 V	11.3	11.5	10.2	—	0.8	4.2	2.0	2.4	5.0	5.1	1.8	13.4	6.2
7 M	3.2	2.7	2.5	—	0.8	2.2	1.9	1.7	2.2	1.7	2.0	2.9	2.2
7 V	11.0	11.0	9.1	—	0.0	4.0	1.9	2.2	5.1	4.9	1.5	13.4	5.8
8 M	3.9	3.8	2.6	—	2.6	2.3	1.6	2.0	2.9	2.5	2.7	3.1	2.7
8 V	11.9	12.4	6.1	—	3.8	5.2	1.6	2.3	6.0	4.2	2.8	9.1	5.9
9 M	3.3	—	2.6	—	0.6	2.9	1.6	1.5	—	1.6	2.0	3.3	2.2
9 V	9.1	—	8.6	—	0.0	4.0	2.0	2.3	—	4.9	1.6	12.5	5.0
10 M	4.8	3.7	2.8	—	0.8	3.4	3.0	2.7	4.0	4.1	4.7	5.0	3.5
10 V	11.9	12.8	10.8	—	0.0	4.2	2.4	2.4	5.8	5.3	2.0	15.2	6.6
11 M	3.5	2.8	2.7	—	1.1	2.7	1.3	1.9	2.3	2.2	2.4	3.3	2.4
11 V	11.1	11.0	9.5	—	0.0	4.4	2.2	2.2	5.2	5.0	1.7	13.7	6.0
12 M	—	2.7	2.8	—	1.0	2.7	2.1	1.6	1.8	2.2	2.3	2.4	2.2
12 V	—	10.9	9.6	—	0.0	3.6	1.9	2.2	5.2	4.6	1.7	13.9	5.4

総平均 \bar{M} 2.3₀
 \bar{V} 5.9₀

のを得ている。

因に、これらの結果の中、捕収効率については二、三の文献を引用して吟味²⁾したところ、妥当であることが認められた。

以上の報告中の計算式には、その誘導に際し数式の取扱いに関して、多少、近似的の処理が施されているので(以下、近似法と呼ぶ)、第4報⁴⁾に於ては末尾に特にスペースを設けて近似性を除くための代案を説き、この方法(以下、直截法と呼ぶ)による計算を同報中の昭和61年度春日井市測定成績の2例について行い、結果を挙げて傾向を示したが、これは次報(第5報)への布石としての役割を持たせたものである。

第5報は直截法を第4報の昭和61年度春日井市に

於ける測定成績全般に適用した結果を掲げ、併わせてこれに関する考察若干を記したものである。

計算式の提示と計算の資料

捕収効率(ϵ)は次式^{1)~4)}によって与えられる。

$$\epsilon = P \times r_a \times 10^{-3} / (\pi R^2 v N) \quad (1)$$

R: 雨滴の半径(cm)

v: 雨滴の落下速度(cm/sec)

N: 雨滴の濃度(個/cm³)

r: 雨滴の強度定数(mm/h)

a: 降下煤塵計の漏斗の面積(cm²)

—— 實際上、706cm²

尚、式中のPは捕収効率に比例する量であるが、詳細については後段参照のこと。

表2 $M = m + \alpha V - \beta V^2$ 中の m , α 及び β (計算値)
(昭和61年度 春日井市)

調査地点	m	α	β	$2\beta/\alpha \times 10^2$
1	3.3	-0.51	-0.042	—
2	1.2	0.03	-0.008	—
3	1.2	0.12	0.002	3.3
4	1.0	-0.01	-0.014	—
5	1.4	0.09	-0.003	—
6	1.6	0.04	-0.006	—
7	1.2	0.23	0.008	7.0
8	1.6	0.20	0.002	2.0
9	1.0	0.32	0.011	6.9
10	2.2	0.37	0.016	8.6
11	0.9	0.47	0.024	10.2
12	1.4	0.28	0.015	10.7
平均	1.5 ₀	—	—	6.9 ₆

一方、降下煤塵量(M)と降水量(V)の間には次の関係が存在する。

$$M = m + K(1 - e^{-P \cdot V}) \quad (2)$$

m : 降下煤塵量(M)の中の降雨に関係のない量 (t/km²・月)

K : 既記の如く、空气中の浮遊煤塵量 (t/km²・月)

表1⁴⁾は春日井市に於ける昭和61年度測定成績の一覧で、第4報に発表のものである。表中の各調査地点に対し、下式

$$M = m + \alpha V - \beta V^2 \quad \alpha > 0, \beta > 0 \quad (3)$$

を想定し、降雨に関係のない量 m や降水量(V)の係数 α 及び β を最小二乗法によって決定すると表2⁴⁾の通りになるが、式(3)を、式(2)を展開して第3項以上を棄てて書き下した式と比べると次の関係 $P = 2\beta/\alpha$ が得られるので⁴⁾これを式(1)のPに代入すると捕収効率(ϵ)を算出することができるが、これが前述の近似法に他ならない。即ち

$$\epsilon = (2\beta/\alpha) \times \alpha \times 10^{-3} / (\pi R^2 v N) \quad (4)$$

又、式(2)に代入すると空气中浮遊煤塵量(K)を算出することができる⁴⁾。

直截法では式(5)

$$\log(K' - M) = -(P/2.303)V + \log K \quad (5)$$

によって与えられるPを式(1)に代入して捕収効率を知ることができ、空气中浮遊の煤塵量は式(5)の $\log K$ から求めることができる。因に、式(5)は式(2)に対し $K + m = K'$ (定数) と置き、書き改めることによって得られ、 $\log(K' - M)$ とVの間に直線関係が存在することを物語っているが、実際にはK'は値未

表3 定数K'と $\log(K' - M) \sim V$ 間の相関係数
(昭和61年度 春日井市; 表1)^{*a}

地点No.2 ^{*b}	K' -r	2.3 ₅ 0.883 ₄	2.8 0.893 ₇	3.3 ₅ 0.882 ₁
地点No.3	K' -r	2.7 0.787 ₃	2.8 0.790 ₅	3.3 0.789 ₆
地点No.5	K' -r	3.3 0.903 ₇	3.4 0.904 ₆	3.5 0.904 ₅
地点No.12	K' -r	4.3 0.627 ₆	4.5 0.627 ₆	4.8 0.627 ₇

*a 紙面節約と要点強調の面から数例とr最大辺のK'を挙げるに止めた。尚、地点9及び10については第4報参照のこと

*b Grubbs-Beckの方法によって検定し、3月の測定成績を棄却(危険率5%)の上、計算

知で、このために直線性を成立させるようなその値を探り出さなければならない。表3に、表1の数地点に関する、式(5)中のK'とこれに対応する $\log(K' - M)$ とVの間の相関係数(r)を掲げた。表から、例えば地点No.2についてはK'=2.8の場合に直線性が最高であることが見られる。図1に表3の4地点に関する散布図及び回帰直線を示した。

計算結果とその考察

計算の原理は以上の通りで、直截法及び近似法の結果を表4に提出した。近似法による結果は第4報に発表のものと殆ど同じであるが、直截法との対比のために添えてある。

Pの大きさは、直截法によると(1.8~20.8) $\times 10^{-2}$ の間に分布し、平均は7.8 $\times 10^{-2}$ であるが、地点No.9を除くと、それぞれ、(1.8~12.8) $\times 10^{-2}$ 及び6.5₇で、これらは近似法の(2.0~10.7) $\times 10^{-2}$ 及び6.5 $\times 10^{-2}$ とほぼ同じである。

近似法のKは式(2)によって計算したもので、例えば地点No.3については表1から $M = 1.8$ 及び $V = 5.8$ 、又表4から $m = 1.2$ 及び $P = 2\beta/\alpha = 3.3 \times 10^{-2}$ と知られるのでこれらを式(2)に代入すると $K = 3.4$ と求められる。近似法によるものは範囲1.8~9.9、平均4.1で、直截法の1.7~7.3及び3.7と、これも亦、殆ど違わない。

尚、捕収効率(ϵ)は直截法の場合には式(1)により、又近似法の場合には式(4)によって、それぞれ、計算することができる。前者の場合、例えば、表4欄外の $P = 7.7 \times 10^{-2}$ (平均値)を使用すると(但

表4 計算結果 (昭和61年度 春日井市)

調査地点	直 截 法* ^a					近 似 法* ^b				
	K' (-r)	P/2.303×10 ²	10·log K	P×10 ²	K	m	α	β	2β/α×10 ²	K
1	7.6 (0.635 ₅)	0.98 ₇	7.57 ₀	2.2 ₇	5.7 ₁	3.3	-0.51	-0.042	—	—
2* ^c	2.8 (0.893 ₇)	4.35 ₆	2.38 ₀	10.0 ₃	1.7 ₅	1.1	0.13	0.002	3.1	4.1 ₁ * ^d
3	2.8 (0.790 ₅)	4.92 ₆	2.14 ₂	11.3 ₅	1.6 ₄	1.2	0.12	0.002	3.3	3.4 ₄
4* ^c	8.1 (0.919 ₆)	0.77 ₄	8.63 ₄	1.7 ₈	7.3 ₀	0.9	0.09	-0.002	—	—
5	3.4 (0.904 ₆)	5.28 ₀	3.70 ₄	12.1 ₅	2.3 ₄	1.4	0.09	-0.003	—	—
6	7.7 (0.824 ₁)	1.04 ₀	8.01 ₆	2.3 ₉	6.3 ₃	1.6	0.04	-0.006	—	—
7	4.9 (0.895 ₁)	2.10 ₁	5.47 ₈	4.8 ₄	3.5 ₃	1.2	0.23	0.008	7.0	3.0 ₀
8	5.3 (0.940 ₃)	3.31 ₄	5.91 ₀	7.6 ₃	3.9 ₀	1.6	0.20	0.002	2.0	9.9 ₁
9	3.5 (0.867 ₈)	9.03 ₆	4.33 ₁	20.8 ₁	2.7 ₁	1.0	0.32	0.011	6.9	4.1 ₁
10	5.1 (0.603 ₃)	5.57 ₃	3.86 ₅	12.8 ₃	2.4 ₃	2.2	0.37	0.016	8.6	3.0 ₀
11	5.9 (0.879 ₇)	1.66 ₃	6.32 ₉	3.8 ₄	4.2 ₉	0.9	0.47	0.024	10.2	3.2 ₇
12	4.5 (0.627 ₉)	1.37 ₄	4.32 ₀	3.1 ₆	2.7 ₀	1.4	0.28	0.015	10.7	1.8 ₂
		平均	7.7 ₆	3.7 ₂		平均	6.4 ₇	4.0 ₈		

*a $\log(K' - M) = -(P/2.303) \cdot V + \log K$ *b $M = m + \alpha V - \beta V^2$ ($\alpha > 0, \beta > 0$), $P = 2\beta/\alpha$
 *c 3月の測定成績を棄却し(危険率5%)、計算(直截法及び近似法)
 *d 表1から3月分を除き、M=1.7及びV=5.1を使って計算

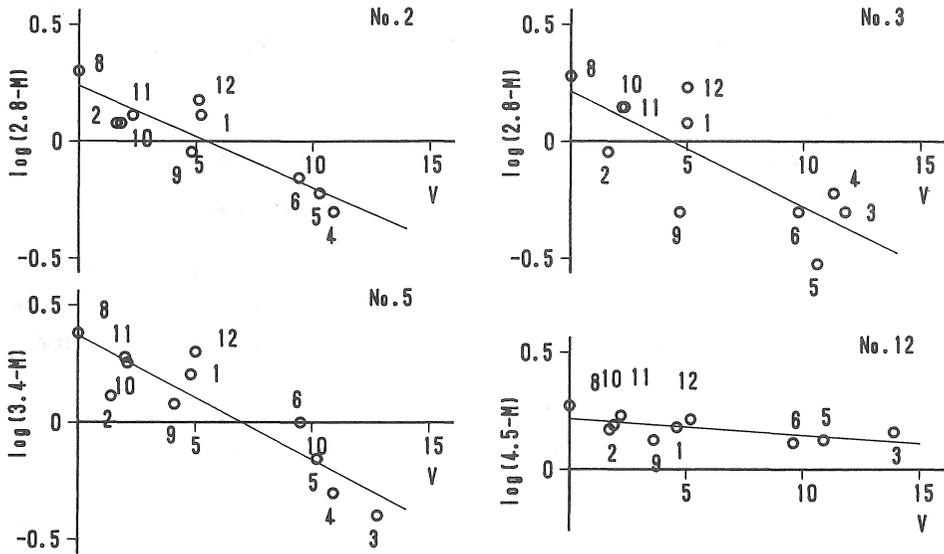


図1 散布図と回帰直線(春日井市 昭和61年度、点に付けた数字は月を示す)

し、降雨強度1mm/h、雨滴直径1mmとする)、結果は次の通り

$$\epsilon = \frac{(7.7_6 \times 10^{-2}) \times (1/3.6 \times 10^{-4}) \times (7.06 \times 10^2) \times 10^{-3}}{3.14 \times (5 \times 10^{-2})^2 \times (3.90 \times 10^2) \times (3.5 \times 10^{-5})} = 5.1_1 \times 10^{-2}$$

で、前4報^{1)~4)}と同様に、10⁻²の桁のものが得られる。因に、本文指摘のP=6.5₇×10⁻²を使用するとε=4.3₂×10⁻²で、近似法の場合(P=6.4₇×10⁻²)の結果(ε=4.2₆×10⁻²)と、事実上、一致している。

第4報にも記事した如く、降水量(V)が増加する

につれ降下煤塵量(M)は限度に接近する筈で、直截法はこれを考慮に入れた式(2)を基盤としたものである。一方、近似法は降下煤塵量と降水量の測定成績の間の関係を実験式(M=m+αV-βV²)に表わし、これを式(2)と組み合わせたものであるが、実験式が極値を持つので適用に際し注意が必要であるとか式(2)を展開して第3項以上を棄てているので精度に問題があるとかの難を含んでいる。従って直截法の方が合理性に豊かであると考えられるが、結果(表4)もこれを裏書きし、(1) PやKの大きさについて

ては両法の間には殆ど違いがないが、(2) 適用出来た地点の数に近似的法の方が若干劣っている、などの様子が見られる。

本報は、以上の通り、足場固めに役立つ程度のもので過ぎないので、今後更に、資料の収集、知見の獲得に努めて直截法の一般性を確かめる予定である。

まとめ

過去4報に於て筆者らは降下煤塵計による降下煤塵量と降水量の測定成績から雨滴による煤塵粒子の捕収効率とか降雨によって洗い落とされるべき、空中浮遊の煤塵量の計算を行い、愛知県春日井市、広島県大竹市、北海道釧路市などの諸地域を通じ、前者が 10^{-2} の桁の大きさを持ち、後者が $3\sim 4$ t/km²・月程度であるとの結果を発表しているが、計算式の誘導に関して近似化の操作が加えられているのでこの計算法は謂わば近似法とでも呼ぶべきものであった。このために筆者らは第4報の末尾に於て近似化の処理を含まない謂わば直截法とでも呼ぶべき方法を提出し、これによる計算例を附記した。

第5報はこれを承けて直截法による、更に一連の計算を行い、近似法の結果との比較(表4)を報告したものである。これによると、捕収効率及び空气中浮遊の煤塵量については両法の間には殆ど差が出ていないが、計算の適用出来た事例の数については直截法の方が勝っていることが認められた。

引用文献

- 1) 佐野 慥、太田 洋、市川俊子、坪井 勇：降下煤塵量と降水量の間の関係について，愛工大研報，No.20, 101-107, 1985
- 2) 太田 洋、佐野 慥、市川俊子、坪井 勇、桃井和好：降下煤塵量と降水量の間の関係について(第2報)，愛工大研報，No.21, 83-89, 1986
- 3) 太田 洋、佐野 慥、市川俊子、坪井 勇：降下煤塵量と降水量の間の関係について(第3報)，愛工大研報，No.22, 65-71, 1987
- 4) 佐野 慥、太田 洋、市川俊子、坪井 勇：降下煤塵量と降水量の間の関係について(第4報)，愛工大研報，No.24, 29-40, 1989

(受理 平成2年3月20日)