

ヨード131の沈着速度について*

伊藤 昭 三**

2-1. はしがき

一般に沈着速度は沈着する物質の種類や被沈着面の性質によって変化するが、I-131 についての実験結果によると、それを支配する特徴的な速度はシャーリングストレスに起因する摩擦速度と関係があることが分った。(天気 Vol. 11 No. 1 参照).

この報告では市街地を対称とし、既存の気象資料から摩擦速度を推定する方法および沈着速度の季節別発生ひん度を大気の成層状態と関連して求めた統計結果をのべる。

2-2. 摩擦速度の推定

接地気層の中での平均風速の鉛直分布は多くの実験や理論から次のようにあらわれることが知られている。

$$U(Z) = \frac{V^*}{k} \left\{ \ln Z/Z_0 + \frac{\beta}{L} (Z - Z_0) \right\} \quad (1)$$

そこで、

$U(Z)$; 高さ Z における平均風速

V^* ; 摩擦速度 L ; 安定度長さ

k ; カルマン定数(0.4) Z_0 ; 粗度定数

β ; 経験定数

したがってある高さ Z_1 における風速の観測から摩擦速度 V^* を求めるためには、気層の成層の状態に応じ安定度長さ L 、経験定数 β 、粗度定数 Z_0 などが知られなければならない。もし、これらの量が既知とすると(1)式から摩擦速度 V^* は次のようにかける。

$$V^* = \frac{kU(Z_1)}{\ln \frac{Z_1}{Z_0} + \frac{\beta}{L} (Z_1 - Z_0)} \quad (2)$$

2-3. 安定度長さ L および経験定数 β

既存の気象資料の気層安定度は実用的な見地から所謂普通の気象資料によって Pasquill の提出した英国気象局方式を用いて分類されているので、この分類と安定度長さ L の関係を知らなければならない。

この関係は現在の所はつきり定まっていないが、Ito

* On the Deposition Velocity of Iodine-131.

** Shozo Ito, 気象庁観測部

—1965年1月1日受理—

(1965)の推定によると次のような対応がほぼ成り立つ。

英国気象局法 による安定度	安定度長さ (m)
A	-100
B	-200
C	∞
D	+ 90
E	+ 20
F	+ 12

上記の結果はそれぞれ A, B, C, D, E, F について各対応する L の平均を示したもので、たとえば A について L は、-100 m を平均として前後に分布しているが、英国気象局方式では L であらわされるような連続的な数値で安定度が分類されないので、代表的な値を示したもので、以後は L としてこの値を用いる。

一方、経験定数 β は安定度によって 0.2 から 20 あたりになると云われているが (Takeuchi, 1961) 広範囲の安定度領域についてそれぞれに対応する β の値を指定しても、本来の物理的な意味がはっきりしていないので、現段階では多くの研究者の結果を総合して $\beta=6$ を全種類の安定度について適用するのが適当であると考えた。この値を採用すれば、各安定度について、

$$A \quad \beta/L = -6.0 \times 10^{-2}$$

$$B \quad -3.0 \times 10^{-2}$$

$$C \quad 0$$

などと定まる。 β/L の値については、Shiotani (1962), Tani (1963) など多くの観測結果があるが、英国気象局方式との関連を求め、実用的な観点を満たすほどに単純なものでないので、一応 β/L として各安定度について上記の値を用いることとした。

2-4. 粗度定数

粗度定数 Z_0 は地表面の粗さに関係した量で風洞実験などの結果によると障害物の高さの約 1/3 程度になると云われているが、大気の場合には、それぞれ流れの場を扱うスケールによってその障害物となる対象を考えなければならない。たとえば、地球上の大規模な流れの場を扱う場合には山岳などが地表面の粗さの尺度となるであろうし、市街地の上空の流れには構造物などがその尺度と

なる。こゝでは対象とする被沈着面のごく近傍の粗度が問題となるが、それを明確に定めるには多くのあいまいさを持っている。さて、通常的气象観測で測定されている高さの風速が、対数十一次項によってあらわされ、そのような平均風速がある高さで0になる。そのような高さをこゝでは粗度定数 Z_0 とする。

さて、つぎに3つの場合* について考えた。

(I) $Z_0=4m$

この値は「淵」の測定による中央气象台無線塔の風の観測から推定される値であるが、この資料はかなり古く、当時の測定器**の性能から、地上4m近くで平均風速を0と考えなければならぬのか、地上附近を詳細に測定してないために起こるのか、いづれかはっきりしないが、異常に大きな Z_0 を考えなければならぬ。この値には近い値が「相馬」によって東京タワーの観測についても云われている。東京タワーの風の観測の高さを考えると、一番低い高さで20m程度でこの観測値から、それ以下の風速を推定すれば Z_0 が数mになってしまうのは当然であるとも考えられる。こうして市街地の風についての情報は極めて少く、どんな値が適当であるか現状では困難であるが、一応この値を採用して平均風速が高さ27m(東京管区気象台の風速計の高さ)で観測されている場合について(2)式から、摩擦速度と平均風速の関係を各安定度について2-3でのべた β/L を用いて求めると次のようになる。

安定度別摩擦速度 (m/sec) と風速 (m/sec) の関係

A	$V^*=0.77 U_{27}$	}	(3)
B	$//=0.33 U_{27}$		
C	$//=0.21 U_{27}$		
D	$//=0.12 U_{27}$		
E	$//=0.04 U_{27}$		
F	$//=0.03 U_{27}$		

(II) $Z_0=40cm (0.4m)$

この値は、さきの東京タワーの観測資料を「島貫」が解析した結果で、同一の気象資料によっても各研究者の解釈から一桁もことなる値となる。さて、かりに $Z_0=0.4m$ とすればさきと同様な計算により、摩擦速度 V^* と平均風速の関係は、安定度がA, B, C, ……の時、 $0.15 U_{27}$, $0.11 U_{27}$, $0.09 U_{27}$, ……となる。

* 以後にのべる Z_0 については印刷された資料ではなく、折にふれ、乱流月例会の講演や個人的な話から得た資料である。

** ロビンソン型風速計

(III) $Z_0=10cm (0.1m)$

この値は、最初へのべた被沈着面近くの粗度を対象とし一応、風速分布を考えず、とにかく平均風速がほぼ0に近くなる高さを直観的に考えた場合である。さて、この場合 V^* と U_{27} との関係は次のようになる。安定度がA, B, C, ……の時、 $0.09 U_{27}$, $0.08 U_{27}$, $0.07 U_{27}$, ……と表わされる。

かくして3つの場合について高さ27mの一点の平均風速から各安定度について摩擦速度を求める式を導いた。平均風速のひん度統計を各安定度について求めれば、それぞれの場合に応じて摩擦速度の統計ができる。したがって、沈着速度は第1部でのべたように被沈着の各種の平均について、

$$Vg=5 \times 10^{-2} \cdot V^* \quad \text{m/sec} \quad (6)$$

とあらわせるので、容易に統計的な結果を知ることができる。

2-5. 一般的性質

(1) 平均風速 U_{27} を固定して考えると、不安定な成層になるほど摩擦速度は大きい。つまり沈着速度は大きくなる。

(2) 一方A, B (不安定な) 成層やE, F (安定な) 成層がおきるのは、平均風速が非常に小さいときであるので、沈着速度が大きくなるのは、中立状態に近いCあるいはDであり、不安定な場合や安定な場合は沈着速度は小さい。

(3) しかし、沈着量にすると、不安定な場合は近距離で中立状態や安定な状態にくらべ濃度が大きく、沈着量は大きくなる。一方、安定な場合は遠距離で濃度が大きく沈着量が大きくなる。こうして、沈着速度と距離によってあらゆる場合が沈着量を評価する場合におき、沈着速度の大小が直接沈着量を比較する量とはならない。

2-6. 統計結果

東京の観測から各季節の代表例として冬期(1月), 春期(4月), 夏季(7月), 秋期(10月)における、毎10分毎の平均風速を統計し、風速階級別に各安定度毎に統計したのが第8 a ~ d 図である。(1959年の資料)

第8図から各風速の発生ひん度が知られるので、第8図の横軸に選んだ風速階級に(3)式で示したような係数をかければ摩擦速度に容易に読みかえることができる。

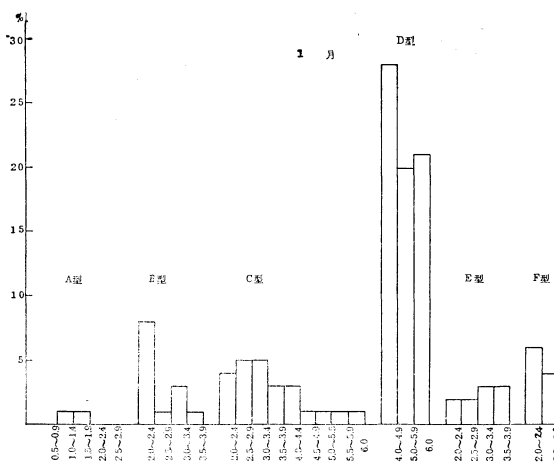
次の表は第8図の横軸の風速階級の尺度を読みかえた摩擦速度と沈着速度に換算した範囲である。したがって沈着速度階級別ひん度図を求めれば容易に得られる。

たとえば、第8図で安定度階級Dで風速階級4.0-4.9 m/sec における発生ひん度は1月において28%である。したがって、 $Z_0=10\text{cm}$ とすれば、上の表より沈着速度 1.2cm/sec~1.5cm/sec が28%あると云うことになる。

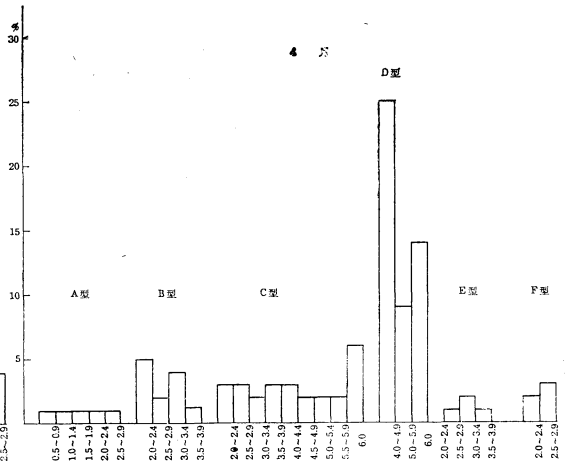
参考文献

1) Takeuchi, K. 1961; On the Structure of The Turbulent Field in the Surface Boundary Layer, Jour. of Met. Japan 39.
 2) Tani, N. 1963; The Wind Over the Cultivated Field, The Bulletin of the National

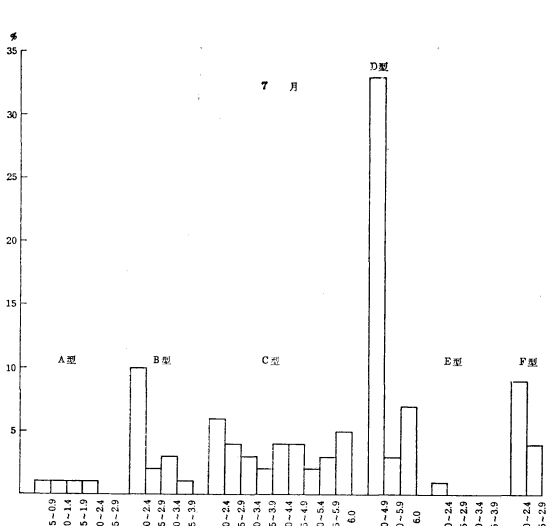
Institute of Agricultural Sciences Series A 10.
 3) Shiotani, M. 1962; The Relation between Wind Profiles and Stabilities of the Air Layer in the Outskirts of the City. Jour of Met. Japan 40.
 4) Ito, S. 1964; The Atmospheric Diffusion in the Surface Boundary Layer —On the Effect of Thermal Stratification (to be published)



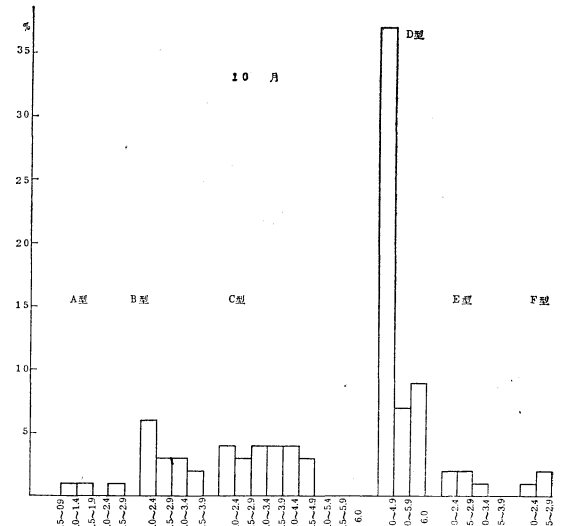
第8図 a



第8図 b



第8図 c



第8図 d

風速階級と摩擦速度・沈着速度の対応表

U_{27} 風速階級	0.5~0.9m/s	1.0~1.3	1.5~1.9	2.0~2.4	2.5~2.9
V* 摩擦速度階級 ($Z_0 = 4$ m)	m/s 3.9~6.9×10 ⁻¹	7.7×10 ⁻¹ ~1.1	1.2~1.5	1.5~1.9	1.9~2.2
A (Z ₀ = 40 cm)	m/s 7.5×10 ⁻² ~1.4×10 ⁻¹	1.5~2.1×10 ⁻¹	2.3~2.9×10 ⁻¹	3.0~3.6×10 ⁻¹	3.8~4.4×10 ⁻¹
型 (Z ₀ = 10 cm)	m/s 8.0×10 ⁻² ~1.4×10 ⁻¹	1.6~2.2×10 ⁻¹	2.4~3.0×10 ⁻¹	3.2~3.8×10 ⁻¹	4.0~4.6×10 ⁻¹
Vg 沈着速度階級 (Z ₀ = 4 m)	cm/s 2.0~3.5	3.9~5.5	6.0~7.5	7.5~9.5	9.5×10 ⁰ ~1.1×10 ¹
型 (Z ₀ = 40 cm)	cm/s 3.8~7.5×10 ⁻¹	7.5×10 ⁻¹ ~1.1	1.2~1.5	1.5~1.8	1.9~2.2
型 (Z ₀ = 10 cm)	cm/s 4.0~7.0×10 ⁻¹	8.0×10 ⁻¹ ~1.1	1.2~1.5	1.6~1.9	2.0~2.3
U_{27} 風速階級	2.0~2.4m/s	2.5~2.9	3.0~3.4	3.5~3.9	
V* 摩擦速度階級 (Z ₀ = 4 m)	m/s 6.6~7.9×10 ⁻¹	8.3~9.6×10 ⁻¹	1.0~1.1	1.2~1.3	
B (Z ₀ = 40 cm)	m/s 2.2~2.4×10 ⁻¹	2.3~3.2×10 ⁻¹	3.3~3.7×10 ⁻¹	3.9~4.3×10 ⁻¹	
型 (Z ₀ = 10 cm)	m/s 1.6~1.9×10 ⁻¹	2.0~2.3×10 ⁻¹	2.4~2.7×10 ⁻¹	2.8~3.1×10 ⁻¹	
Vg 沈着速度階級 (Z ₀ = 4 m)	cm/s 3.3~4.0	4.2~4.8	5.0~5.5	6.0~6.5	
型 (Z ₀ = 40 cm)	cm/s 1.1~1.2	1.4~1.6	1.7~1.9	2.0~2.2	
型 (Z ₀ = 10 cm)	cm/s 8.0~9.5×10 ⁻¹	1.0~1.2	1.2~1.4	1.4~1.6	
U_{27} 風速階級	2.0~2.4	2.5~2.9	3.0~3.4	3.5~3.9	4.5~4.9
V* 摩擦速度階級 (Z ₀ = 4 m)	m/s 4.0~5.0×10 ⁻¹	5.3~6.1×10 ⁻¹	6.3~7.1×10 ⁻¹	7.4~8.2×10 ⁻¹	9.5×10 ⁻¹ ~1.0
C (Z ₀ = 40 cm)	m/s 1.8~2.2×10 ⁻¹	2.3~2.6×10 ⁻¹	2.7~2.1×10 ⁻¹	3.2~3.5×10 ⁻¹	4.1~4.4×10 ⁻¹
型 (Z ₀ = 10 cm)	m/s 1.4~1.7×10 ⁻¹	1.8~2.0×10 ⁻¹	2.1~2.4×10 ⁻¹	2.5~2.7×10 ⁻¹	3.2~3.4×10 ⁻¹
Vg 沈着速度階級 (Z ₀ = 40 cm)	cm/s 2.0~2.5	2.7~3.1	3.2~3.6	3.7~4.1	4.2~4.6
型 (Z ₀ = 40 cm)	cm/s 3.0×10 ⁻¹ ~1.1	1.2~1.5	1.4~1.6	1.6~1.8	1.8~2.0
型 (Z ₀ = 10 cm)	cm/s 7.0~8.5×10 ⁻¹	9.0×10 ⁻¹ ~1.0	1.1~1.2	1.3~1.4	1.4~1.6

C	U ₂₇ 風速階級	5.0~5.4	5.5~5.3	U ₂₇ 風速階級	4.0~4.9	5.0~5.9	≥ 6.0
	V* 摩擦速度階級 (Z ₀ = 4 m)	1.1~1.1	1.2~1.2	V* 摩擦速度階級 (Z ₀ = 4 m)	408~5.9×10 ⁻¹	6.0~7.1×10 ⁻¹	≥ 7.2×10 ⁻¹
D	U ₂₇ 風速階級	4.5~4.9×10 ⁻¹	5.0~5.3×10 ⁻¹	U ₂₇ 風速階級	3.2~3.9×10 ⁻¹	4.0~4.7×10 ⁻¹	≥ 4.8×10 ⁻¹
	V* 摩擦速度階級 (Z ₀ = 40 cm)	3.5~3.8×10 ⁻¹	3.9~4.1×10 ⁻¹	V* 摩擦速度階級 (Z ₀ = 10 cm)	2.4~2.9×10 ⁻¹	3.0~3.5×10 ⁻¹	≥ 3.6×10 ⁻¹
E	U ₂₇ 風速階級	2.3~2.5	2.5~2.7	U ₂₇ 風速階級	1.7~2.0	2.0~2.4	≥ 2.4
	V* 摩擦速度階級 (Z ₀ = 10 cm)	5.5~5.5	6.0~6.0	V* 摩擦速度階級 (Z ₀ = 4 m)	2.4~3.0	3.0~3.6	≥ 3.6
F	U ₂₇ 風速階級	1.3~1.9	2.0~2.1	U ₂₇ 風速階級	1.2~1.5	1.5~1.8	≥ 1.3
	V* 摩擦速度階級 (Z ₀ = 40 cm)	8.0~9.6×10 ⁻²	1.0~1.2×10 ⁻¹	V* 摩擦速度階級 (Z ₀ = 4 m)	1.2~1.4×10 ⁻¹	1.4~1.6×10 ⁻¹	≥ 1.6×10 ⁻¹
G	U ₂₇ 風速階級	6.0~7.2×10 ⁻²	7.5~8.7×10 ⁻²	U ₂₇ 風速階級	9.0×10 ⁻² ~1.0×10 ⁻¹	1.1~1.2×10 ⁻¹	≥ 1.2×10 ⁻¹
	V* 摩擦速度階級 (Z ₀ = 4 m)	4.0~4.8×10 ⁻¹	5.0~6.0×10 ⁻¹	V* 摩擦速度階級 (Z ₀ = 40 cm)	6.0~7.0×60 ⁻¹	7.0~8.0×10 ⁻¹	≥ 8.0×10 ⁻¹
H	U ₂₇ 風速階級	3.0~3.6×10 ⁻¹	3.8~4.4×10 ⁻¹	U ₂₇ 風速階級	4.5~5.0×10 ⁻¹	5.5~6.0×10 ⁻¹	≥ 6.0×10 ⁻¹
	V* 摩擦速度階級 (Z ₀ = 10 cm)	3.0~306×10 ⁻¹	3.8~4.4×10 ⁻¹	V* 摩擦速度階級 (Z ₀ = 10 cm)	4.5~5.0×10 ⁻¹	5.5~6.0×10 ⁻¹	≥ 6.0×10 ⁻¹

E	U ₂₇ 風速階級	2.0~2.4	2.5~2.9	U ₂₇ 風速階級	3.0~3.4	3.5~3.9	≥ 3.9
	V* 摩擦速度階級 (Z ₀ = 4 m)	8.0~9.6×10 ⁻²	1.0~1.2×10 ⁻¹	V* 摩擦速度階級 (Z ₀ = 4 m)	1.2~1.4×10 ⁻¹	1.4~1.6×10 ⁻¹	≥ 1.6×10 ⁻¹
F	U ₂₇ 風速階級	6.0~7.2×10 ⁻²	7.5~8.7×10 ⁻²	U ₂₇ 風速階級	9.0×10 ⁻² ~1.0×10 ⁻¹	1.1~1.2×10 ⁻¹	≥ 1.2×10 ⁻¹
	V* 摩擦速度階級 (Z ₀ = 4 m)	4.0~4.8×10 ⁻¹	5.0~6.0×10 ⁻¹	V* 摩擦速度階級 (Z ₀ = 40 cm)	6.0~7.0×60 ⁻¹	7.0~8.0×10 ⁻¹	≥ 8.0×10 ⁻¹
G	U ₂₇ 風速階級	3.0~3.6×10 ⁻¹	3.8~4.4×10 ⁻¹	U ₂₇ 風速階級	4.5~5.0×10 ⁻¹	5.5~6.0×10 ⁻¹	≥ 6.0×10 ⁻¹
	V* 摩擦速度階級 (Z ₀ = 10 cm)	3.0~306×10 ⁻¹	3.8~4.4×10 ⁻¹	V* 摩擦速度階級 (Z ₀ = 10 cm)	4.5~5.0×10 ⁻¹	5.5~6.0×10 ⁻¹	≥ 6.0×10 ⁻¹

F	U ₂₇ 風速階級	2.0~2.4	2.5~2.9	U ₂₇ 風速階級	2.5~2.9	3.0~3.4	≥ 3.4
	V* 摩擦速度階級 (Z ₀ = 4 m)	6.0~7.2×10 ⁻²	7.5~8.7×10 ⁻²	V* 摩擦速度階級 (Z ₀ = 4 m)	8.0~9.6×10 ⁻²	1.0~1.2×10 ⁻¹	≥ 1.2×10 ⁻¹
G	U ₂₇ 風速階級	4.0~10 ⁻² ~4.8×10 ⁻²	5.0×10 ⁻¹ ~5.8×10 ⁻²	U ₂₇ 風速階級	5.0×10 ⁻¹ ~5.8×10 ⁻²	6.0~7.0×60 ⁻¹	≥ 7.0×60 ⁻¹
	V* 摩擦速度階級 (Z ₀ = 4 m)	4.0~4.8×10 ⁻²	5.0~5.8×10 ⁻²	V* 摩擦速度階級 (Z ₀ = 40 cm)	6.0~7.0×60 ⁻¹	7.0~8.0×10 ⁻¹	≥ 8.0×10 ⁻¹
H	U ₂₇ 風速階級	3.0~3.6×10 ⁻¹	3.8~4.4×10 ⁻¹	U ₂₇ 風速階級	4.5~5.0×10 ⁻¹	5.5~6.0×10 ⁻¹	≥ 6.0×10 ⁻¹
	V* 摩擦速度階級 (Z ₀ = 4 m)	2.0~2.4×10 ⁻¹	2.5~2.9×10 ⁻¹	V* 摩擦速度階級 (Z ₀ = 4 m)	2.0~2.4×10 ⁻¹	2.5~2.9×10 ⁻¹	≥ 2.9×10 ⁻¹