

昭和52年度秋季大会シンポジウム 「大気汚染に関する諸問題」の報告

まえがき

昭和52年度秋季大会シンポジウム「大気汚染に関する諸問題」は、1977年10月5日、札幌市教育文化会館において、孫野長治氏を座長として開催された。その概要を、講演者による投稿論文および討論抄録によって報告する。討論記録の作成には、孫野長治、播磨屋敏生両氏の労をわずらわした。

大気環境アセスメントにおける問題点*

大 田 正 次**

まえがき

環境アセスメントについては、既に昨年、環境庁はむつ小河原地域の環境影響評価を青森県当局に指示し、最近その結果が報告されていることは御承知のとおりである。また、科学技術庁や通産省では、電源立地に際して以前から環境アセスメントを実施してきたことも、よく知られている。環境アセスメントを実施する場合に、技術的な問題がすっかり解決しているわけではない。それにも拘らず、アセスメントを実施しなければならないのが現状である。したがって、技術的には、ある線で割り切ることが必要となる。

以下に述べる三つの問題は、割り切った問題の近似度を高めるために、なるべく早く研究解決したいと思われる事項の中から、筆者が選んだものである。

1. 上層の風向風速の推定

最近の工業地域の煙突の高さをみると、煙突の実体高が100m以上のものがかなり多く、200mクラスのものもある。これらの場合、煙突の有効高はふつう200~500mくらいとなる。汚染質の拡散計算を行なう場合、我々はこの程度の高さまでの風向と風速とを知る必要がでてくるわけである。いっぽう、測風気球観測などを通年的に行なうことは、マンパワーから考えても実行不可能に近い。そこで、どうしても上層風の推定が必要となって

くる。

1-1 上層の風速の推定

上層の風速を地上の風速から推定することについて現在実用されている方法は、いわゆるパワ則の利用である。パワの指数は、安定度カテゴリの関数として与えられる。EPAの気候拡散モデル(Busseら、1973)では、パスケルカテゴリA~Fに対してそれぞれ指数0.1~0.3を割り振っている。これは、鉄塔の気象観測結果に基づいている。日本では、日中0.25、夜間0.50が採用されることが多い(環境庁、1975)。

研究中のものとしては、林や千秋のものがあり、やはり、パワの指数を安定度の関数としている(林、1977; 千秋、1977)。

パワ則によらず、理論的に地上と上空の風速比を求める研究もある。アメリカのHanna-Panofskyは接地層理論をエクマン層に拡大し、次式のように風速比を地面粗度(z_0)、安定度(R_i)および地衝風速(u_g)の関数として表わした。ただし、風向のずれ θ は一定とした(Hanna・Panofsky, 1969)。

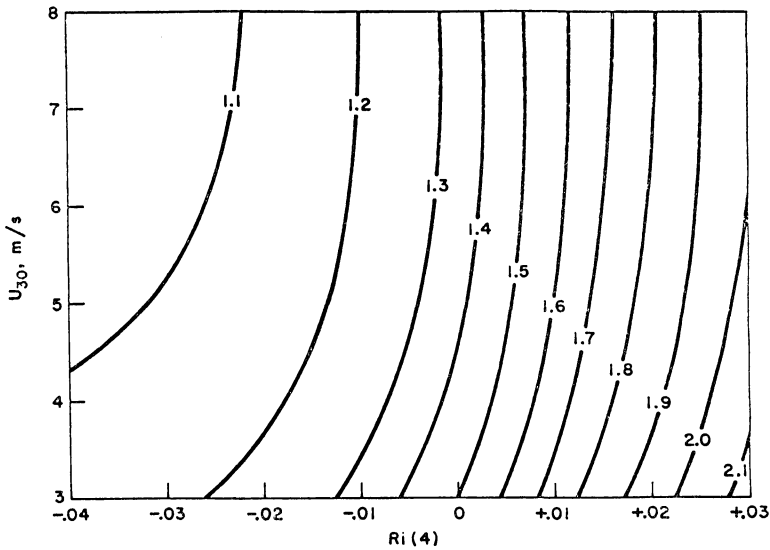
$$\frac{u_{90}}{u_{30}} = f(z_0, R_i, \sin \theta, u_g)$$

上記の理論に基づき、実データから求めた上層風推定ノモグラムを第1図に示す。

イギリスのSmithらは温度風効果を加え、風速比を地面粗度、混合層高度(h)、混合層上限の地衝風速(u_g)、2点間の気温傾度($\Delta\tau/\Delta x$)の関数として、次のように

* Some problems on the atmospheric environmental assessment.

** S. Ohta, (財) 日本気象協会研究所



第1図 u_{90}/u_{30} を求めるノモグラム (夏, 南西風の場合).

与えた. (Smith *et al.*, 1974).

$$\frac{u_z}{u_{10}} = f(z, z_0, u_g, h, \frac{\Delta T}{\Delta x})$$

Smith らの推定例を第2図に示す. 図の右側のプロファイルは, 温度効果によって, 地上10m以上の高さでは風速がほぼ一定となるケースであり注目される.

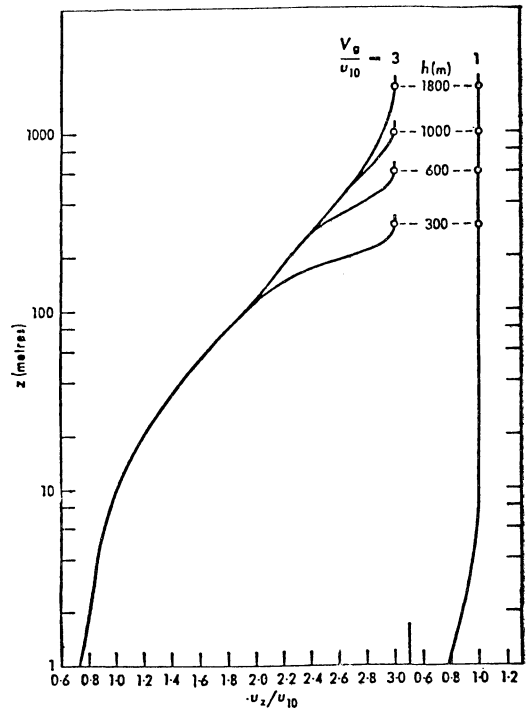
以上の Hanna・Panofsky や Smith らの研究は, 何れも実用化をねらったものであるが, 風向が鉛直方向に一定であるという条件に限られているので, 十分とは言えない.

1-2 風向風速の鉛直プロファイルの測定例

日本各地で得られた約 300 ランのパイバルのデータを整理して風向風速の鉛直プロファイルを描き, その結果を第1表に示した (大田ほか, 1976). 第1表によると, 風速が高さとともに増す場合が37%, ほぼ等しい場合が38%, 不規則型が25%であった. これは, 集まったデータにウェイトをかけずに単純に集計した結果であるが, 風速は上空ほど強いということばかりではないことを示している.

風向についてみると, 下と上 (地上50m と 500m) の風向が同じ場合よりも, 右まわりや左まわりにずれる場合が著しく多いことがわかる.

これらのデータは, 主として沿岸地域で得られたものである. 沿岸では海陸の温度差が利いてくるために, 風向風速のプロファイルが複雑になるものと思われる. これ



第2図 温度風効果の強い場合の風速プロファイル推定例.

らのデータをふまえて, 上層の風向をも含めた風速の推定法を確立することが望ましい.

第1表 風速プロファイルの型(回数, ()は%)

	増大型	等値型	その他*	計
海 風				
風向ずれなし	11	13	4	28
風向右まわり	26	25	17	68
風向左まわり	15	26	3	44
計	52 (37%)	64 (46%)	24 (17%)	140 (100%)
陸 風				
風向ずれなし	15	4	6	25
風向右まわり	24	23	30	77
風向左まわり	15	19	12	46
計	54 (37%)	46 (31%)	48 (32%)	148 (100%)
合 計	106 (37%)	110 (38%)	72 (25%)	288 (100%)
	75%		25%	100%

* 減小, 増大→減小, 減小→増大など

1-3 上層の風向風速の推定

現在のところ, 上層の風向風速を推定する実用的方法はほとんど見当たらない。

広瀬・吉田は, 気象官署のゾンデの測風データを用い, 地上の値から上層の所要高度の風向風速を統計的に推定する方法を開発した(広瀬・吉田, 1974)。この統計的な方法は現在実用に供されている唯一のもので, 高く評価される。

海陸分布を考えに入れ, 温度風効果を取り入れた理論

的研究から出発する方法については安達らの研究があるが, まだ緒についたばかりである(安達・芹沢・大田, 1977)。

1-4 今後の研究の方向

全体を通じて今後の研究の方向としては, (1) パワ則の立場からさらに研究を進めること, (2) 温度風効果を入れて風向も含めた実用的推定方法を開発することが必要であると考えている。

2. パスキルの安定度カテゴリ

ガウス型拡散式の中の拡散巾, $\sigma_y \cdot \sigma_z$ の大きさを, 大気安定度カテゴリ毎に対応させたのがいわゆるパスキル法である(Pasquill, 1961)。パスキル法は, 発表されてから20年近くたっているが, 未だに日本やアメリカで数多く用いられている。これを改善する研究は日本を含め各国で進められ, 今一步というところであるが, 現在のところ残念ながらこれにとって替わるほど定着した研究はないと思う。

パスキル法を改善するには, 3つのアプローチの仕方がある。第1はカテゴリのみを改善しようとするもの, 第2はカテゴリは固定し, これに対応する拡散巾の線図を改善しようとするもの, 第3はカテゴリと拡散巾をひくくめて改善し新法を作らんとするものである。ここでは, 第1の問題, すなわちカテゴリの改善の問題のみをとりあげる。

2-1 パスキルカテゴリの小改良

1961年のパスキルの原論文に出ているものを原型とする(Pasquill, 1961)。日本式と称するものは, 東海村で電源立地のアセスメントに初めて使われたもので, 日射の強弱を定量的にあらわしたもの(原子力気象調査会,

第2表 パスキル安定度分類表(原安協, 1973)。

風速 (v) m/s	日射量 (T) cal cm ⁻² hr ⁻¹				放射収支量 (Q) cal cm ⁻² hr ⁻¹		
	T ≥ 50	50 > T ≥ 25	25 > T ≥ 12.5	12.5 > T	Q > -1.8	-1.8 ≥ Q > -3.6	-3.6 ≥ Q
v < 2	A	A-B	B	D	D	—	—
2 ≤ v < 3	A-B	B	C	D	D	E	F
3 ≤ v < 4	B	B-C	C	D	D	D	E
4 ≤ v < 6	C	C-D	D	D	D	D	D
6 ≤ v	C	D	D	D	D	D	D

(註1) 放射収支量は地面から上方へ向かう量を負とする。

なお, 夜間の放射収支量はふつうは負であるが, まれに正となることがある。

(註2) 日射量, 放射収支量とも観測時前10分間の平均値をとる。

(註3) 日中(日の出~日の入)は日射量を用い, 夜間(日の入~日の出)は放射収支量を用いる。

(註4) 日射量, 放射収支量の単位としては cal cm⁻² hr⁻¹を用いる。

(註5) 風速区分はパスキル法(日本式)による。

1959)である。原安協方式は、精度の悪い夜間の雲の観測を放射収支量で置き換えたものである(原子力安全研究協会, 1973)。

アメリカでよく用いられるターナーカテゴリは、空港にある気象観測所のデータからパスキルカテゴリを決めようとするもので、空港では日射量がないので、月日時から太陽高度を求め、これと雲の観測とを組み合わせて日射量の強弱を推定する(Turner, 1964)。

上の3例、すなわち、日本式、原安協式、ターナー式は、いずれもパスキル原型と同等のもので、それぞれ使いやすいように小改良を加えたものである。

2-2 上層へのカテゴリの適用の問題点

最近の著書で、パスキルは、カテゴリを決めるに当たって、地上数mの範囲の気温の鉛直プロファイルの変化に着目したと述べている(Pasquill, 1964)。このことからわかるように、パスキルカテゴリは地上数mの範囲に適用されるとみるべきであろう。いっぽう、はじめに述べたように、煙突の有効高は現在数百mに及んでいる。このような高煙源からの拡散計算を行なう場合、パスキルカテゴリをどのように上層に適用したらよいであろうか。

現在実用されている方法は、(1)原型のものをそのまま上層にも適用する、(2)都市上空では半階級だけ不安定側にずらす、(3)A→B、F→Eのように適宜に1級づつ中立Dへ寄せる、などである。(1)の方法階が妥当でないことは、はじめに述べたとおりである。(2)の方法については、最近パスキルの提案がある(Pasquill, 1976)。(3)については、成田らのトレーサー実験からもその傾向がうかがわれるが、さらに研究を要する(平山・成田, 1977)。

パスキルカテゴリを上層へ適用するための一つのアプ

ローチは、パスキルカテゴリを、気温減率、風向変動巾、安定度比のような測定可能な量で置き換えることである。このような置換えの例は、アメリカ原子力規制委員会の規制指針(Regulatory Guide, 1972)の中に示されている(第3表)。この表は、パスキルカテゴリと風向変動巾、または、気温減率との関係を示したもので、アメリカの原子力施設のアセスメントに実用されている。ただし、この表を作ったもとのデータは明らかでない。したがって、我々が利用しようとする場合、どの高さの値を用いればよいか問題であり、そのままのみにはできない。

気温の減率とパスキルカテゴリとの対応の研究は、日本でもいくつか行なわれているが、まだ実用される段階にないと思う。もう一步という所である(林・花房, 1976; 千秋・西宮, 1977; 川崎, 1977など)。

風向変動巾とパスキルカテゴリの関係は、Lunaら、Ludwigらが行なっている(Luna *et al.*, 1971; Ludwig *et al.*, 1976)。各カテゴリに対して風向変動巾(σ_A 水平、 σ_E 鉛直)の分散が大ききく、1対1の対応を決めるのは難しい(第3図)。なお、最近の論文で、パスキルは風向変動巾(水平)から水平方向の拡散巾を推定する実用的な方法を述べている(Pasquill, 1976)。安定度比との関係についても同様に分散が大きき(Luna *et al.*, 1971)。このような置換えの研究は、さらに進め、実用化をはかることが望ましい。

なお、上空にパスキルカテゴリを適用する便法として、上空の風速をカテゴリ分類に用いる者もあるが、これは適当でない。その理由は、パスキルカテゴリは地上高10mの風速に基づいて定義されているからである。

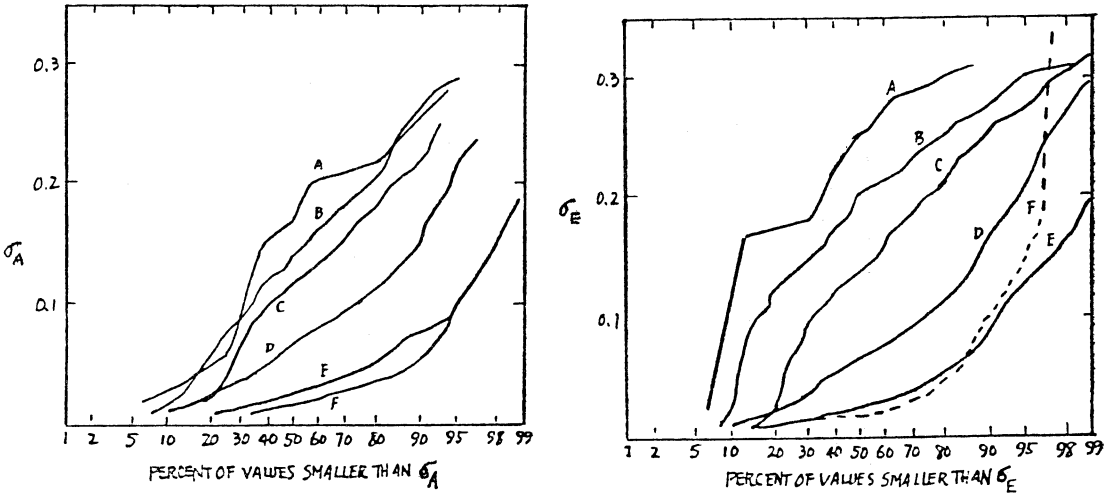
2-3 今後の研究テーマのまとめ

以上の議論から、パスキルカテゴリについての研究テ

第3表 大気安定度分類法(アメリカ原子力規制委員会)。

安定度分類	Pasquillの安定度階級	風向変動幅* (degrees)	気温減率(°C/100m)
Extremery unstable (強不安定)	A	25.0°	<-1.9
Moderately unstable (並不安定)	B	20.0°	-1.9 to -1.7
Slightly unstable (弱不安定)	C	15.0°	-1.7 to -1.5
Neutral (中立)	D	10.0°	-1.5 to -0.5
Slightly stable (弱安定)	E	5.0°	-0.5 to 1.5
Moderately stable (並安定)	F	2.5°	1.5 to 4.0
Extremely stable (強安定)	G	1.7°	>4.0

* 15分ないし1時間の水平方向変動の標準偏差。数値は各階級に対する平均値。



第3図 安定度階級毎の風向変動巾 (σ_A , σ_E) の分布

ーマとしては、上空への適用をはかるため、カテゴリを、気温減率、風向変動巾、安定度比などの上空での測定可能な量で置き換えることである。このような研究は、理論的な安定度指数と高煙源からの拡散巾とを結びつける近道となろう。

そのほか、パスケルカテゴリの市街地への適用のしかた、微風時のカテゴリの扱い方などの問題があり、アメリカや日本で研究されている。

3. 風向の平均時間 (サンプリングペリオド)

気象庁の行なう気象観測は主として天気図の作成を目的としており、世界的に統一された方法に従っている。大気汚染の評価を目的とする気象観測も、便宜上気象庁の観測法に準じて行なわれることが多い。たとえば、汚染質の輸送にとくに重要な役割をしている風向風速についても、気象庁方式にならって、10分間平均値が多く採用されている。いっぽう、汚染質の測定(たとえばSO₂, NO₂など)は1時間平均値がとられている。そこで、10分間平均の風向で1時間平均の汚染濃度を評価する場合どのような問題が起こるか考えてみよう。

3-1 10分間平均風向の1時間内の変動度と風速との関係

10分間平均の風向を1時間平均濃度と対比する場合、10分間平均風向が1時間(10分×6)の間に変わらないものであるか、もし変わるとすればどの位変わるかということを見当たねを明らかにする必要がある。このような研究は手近かに見当たらないので、川上らは何ヶ所かのプロベラ型風向風速計や超音波風速計の記録を調べてみた(川上・

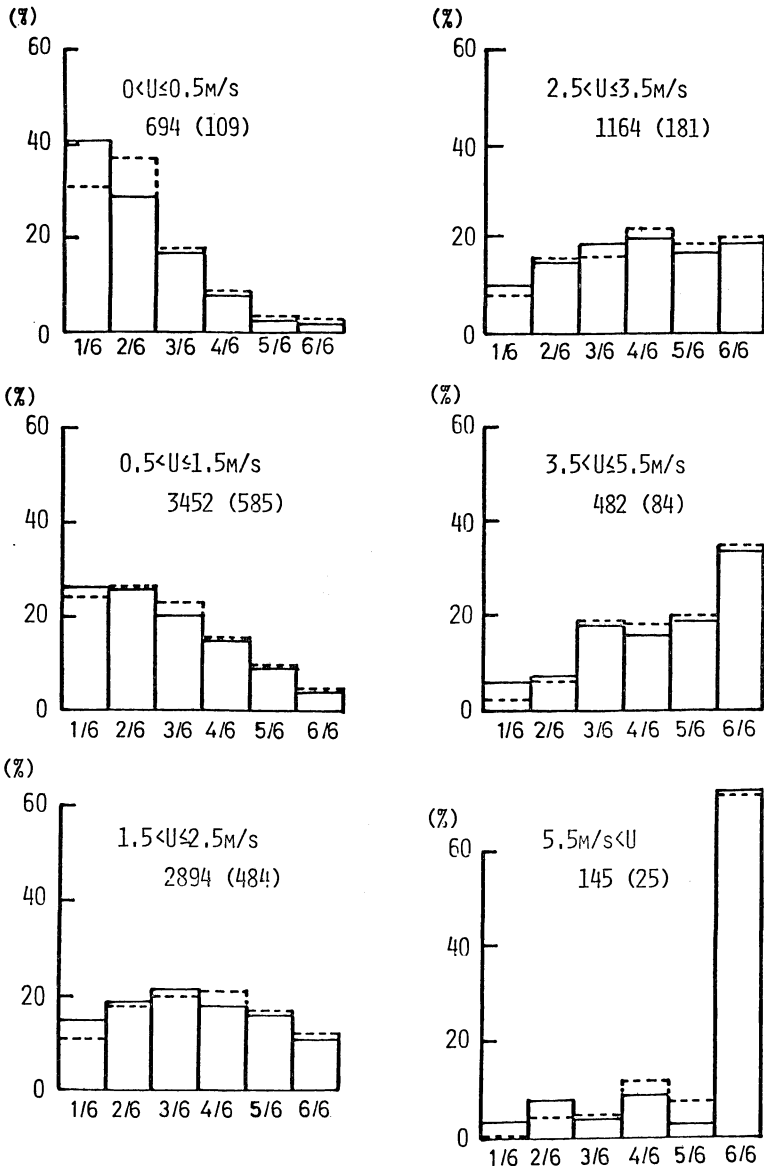
安達・大田, 1977), それによると、正時前10分間の平均風向が1時間の間にそのまま続くというケースは思ったより少なく、とくに弱風時には10分間平均風向は1時間内でかなり変わり易いことがわかった。たとえば、風速が0~0.5 m/sの範囲では、ある10分間の平均風向が他の5回の平均風向と一致しないケースが約40%もあり、全て一致するケースは数%にすぎない。特定の10分間の平均風向が他の5回の平均風向と一致しないケース等についてもほぼ同様である(図の点線)。このような平均風向の1時間内の変化は、不規則な乱れの構造によるものではなく、時間的なトレンド、またはメアンドラ現象とみなしてよい。

3-2 研究の方向

10分間の平均風向は、とくに弱風の場合には、1時間内で変わりやすいことがわかった。したがって、平均時間1時間の汚染濃度を再現しようとする場合、風向の観測方法について何らかの改善が必要となる。

まず、第一に頭に浮ぶのは汚染質の測定は1時間平均であるから、風向も1時間平均をとって対応させたらどうかという解決法である。しかし、変化する風向を1時間にわたって平均してひとつの風向を決めたとしても、1時間平均濃度と対応しないことは明らかである。

濃度との対応をよくするためには、原理的には風向の平均時間を短くし、1時間内に多数の平均風向値を求め、それをそのまま用いて濃度計算をするのがよいと思う。アメリカのアイダホにおける弱風時の実験では、2分毎の平均風向を採用した(Sagendorf, et al., 1974)。



第4図 10分平均風向の60分内の出現頻度分布 (点線は特定の10分に着目した場合) (館野, 地上10m, 51/10~51/12).

日本では10分平均を6個用いて濃度値を評価した(安達・大田, 1976).

風向の平均時間を何分にとればよいかということは, 風の構造に関係する. 風の構造は海陸風のような温度風効果, 地形地物などによる物理的な影響, 風や気温のような気象要素の鉛直プロファイルの影響などに関係するので, より基礎的な研究が望ましい.

4. おわりに

大気環境アセスメントの実施に当面して持ち上がってきた問題点を三つだけ拾い上げて, 従来の研究, 問題の所在, 今後の研究の方向等を述べてきた.

このような実用研究は, とかく研究者側からは敬遠されがちであるが, 環境アセスメントの重要性にかんがみ, 多くの研究者が研究開発に参加され, この種の問題について日本の研究者の層が益々厚くなることを期待す

る次第である。

文 献

- 安達隆史ほか, 1976: 大気汚染濃度予測ならびに雨量予測手法のシステム化の開発研究報告書, (財)日本気象協会, 37.
- 安達隆史ほか, 1977: 上層風の推定手法の開発——物理モデルによる新推定法, 大気汚染濃度予測ならびに雨量予測手法のシステム化の開発研究報告書, (財)日本気象協会, 138-150.
- Busse A.D. *et al.*, 1973: Users guide for the climatological dispersion model, EPA-R4-73-024.
- 原子力安全研究協会, 1973: 夜間雲量雲形の目視観測の代りに放射収支計を用いる方法の確立, 原安協報告, 40.
- 原子力気象調査会, 1959: 東海村の煙突から出る廃棄物の拡散に関する調査.
- Hanna, S.R. *et al.*, 1969: Estimation of the 90 m wind from low level observation, WMO Technical Note No. 93, 219-250.
- 林 正康, 1977: 上層風の推定, 日本気象学会春季大会講演予稿集.
- 林 正康ほか, 1976: パスキル安定度分類の実験的検証, 公害, 1976-1, 14-28.
- 平山昭生ほか, 1977: パスキルの大気安定度と風, 日本気象学会秋季大会講演予稿集.
- 広瀬元孝ほか, 1974: 上層風の推算方式について, 日本気象学会秋季大会講演予稿集.
- 環境庁, 1975: 総量規制マニュアル.
- 川上美代子ほか, 1977: 10分間平均風向の代表性について, 日本気象学会秋季大会講演予稿集.
- 川崎秀行, 1977: パスキル安定度分類について, 日本気象学会秋季大会講演予稿集.
- Ludwig, F.L. *et al.*, 1976: Comparison of two

practical stability classification scheme in an urban application, *J. Appl. Met.*, 15, 1172-1176.

Lunna, R.E. *et al.*, 1972: A comparison of turbulence intensity and stability ratio measurements to Pasquill stability classes, *J. Appl. Met.*, 11, 663-669.

Regulatory Guide, 1972: Onsite meteorological programs, N.R.C., U.S.A.

大田正次ほか, 1976: 風と気温の鉛直プロファイルデータの収集整理, 大気汚染濃度予測ならびに雨量予測手法のシステム化の開発研究報告書, (財)日本気象協会, 40.

Pasquill, F., 1961: The estimation of the dispersion of wind-borne material, *Met. Mag.*, 90, 1-21.

——, 1974: Atmospheric Diffusion, Ellis Horwood Publisher, 377-379.

——, 1976: Atmospheric dispersion parameters in Gaussian plume modeling, Part II, Possible requirement for change in the Turner Workbook values, EPA-600/4-76-030 b, 1-44.

Sagendorf, J.F. *et al.*, 1974: Diffusion under low wind. speed, inversion conditions, NOAA, TM, ERL, ARL-52, 1-89.

千秋鋭夫ほか, 1977: パスキル安定度について, 日本気象学会春季大会講演予稿集.

千秋鋭夫, 1977: 下層大気における代表風速の推定, 日本気象学会秋季大会講演予稿集.

Smith, F.B. *et al.*, 1974: A scheme for deriving day-time boundary-layer wind profiles, *Met. Mag.*, 103, 241-255.

Turner, D.B., 1964: A diffusion model for an urban area, *J. Appl. Met.*, 3, 83-91.

討 論

塩谷(日大生産工学部): 我々は, 地表 Roughness により Power law の Power を, 海岸近くでは $1/8$, 都市では $1/3 \sim 1/2.5$ としているが, 拡散を扱う時にはどうしているのか. 境界層 Model では, Z_0 と Stability から Log-law になるが, この場合には, 5~10 km の範囲での Homogeneity が必要である. しかし, 現実にはこの条件は満たされないのので, ベキ乗則で良いのだという意見もある. 上層風を推定するのに, 我々は, 気象官署の地上風を平坦な場のものに修正して用いているが, この点をどう扱っているか.

大田: 実用面では, Roughness により Power を変えていない. 地形の問題は大気汚染では大きな問題であ

り, 特に, Pasquill 安定度を求める際には地上10mで評価することになっているが, 高さの修正は日本においては行なわれていないのが現状である.

井上(元農技研): パスキルは「どうして自分の方法を使うのか」と言っていた. 我々は地上1.5m位に住んでいる. 我々の住む市街地の谷間にも Power law が成り立つのか.

大田: パスキルは, 「Atmospheric Diffusion」の改訂版(1974)の中でも自分の方法を推奨している. 大気汚染では, Power law は100mとか500mの接地層の外で使っているのので, 問題はないと思う. Log-lawを用い, それを上には拡張している例もある.

井上：建築ではよく Power law を使用し、 $1/7$, $1/4$, $1/2$ などの値を用いている。Power law を孤立した建て物に適用するのなら良いが、ビルの乱立する所で用いることができるのか。

塩谷：新宿副都心の高層ビル地区に新しいビルを建てるような時には、風洞実験を行なっている。この時には、はるか風上で、Power law が成り立つようにしているようだ。

大気中の物質の変換と沈着に関する最近の研究*

大喜多 敏 一**

最近、大気中の物質の変換と沈着に関する研究が目立って多くなった。それは、汚染問題の広域化に伴って、たとえば、光化学大気汚染、酸性雨の問題が生じており、広域問題では、汚染物の単なる拡散以外に変換や沈着の問題を避けて通ることができないためである。物質の変換はまた、大気中におけるエアロゾル生成機構を知る上でも重要である。まず、反応による変換機構について述べよう。

現在研究の対象となっている反応系としては、NO_x-炭化水素系と SO₂ を含む系が重要であるが、ここでは前者について Graedel 等のモデルを述べ (Graedel, et al., 1976)、後者については野外観測の結果に主として言及する。

1. 光化学スモッグ生成機構

光化学スモッグ生成機構シミュレーションモデルにおいては、従来の拡散方程式に反応方程式が加わるが、光化学反応は非常に複雑であるので、モデルに組み込む際に何らかの省略がなされねばならない。研究者によって、反応式の数が10程度の簡単なものからかなり複雑なものまで、いろいろの形で反応を取り扱っている。しかし、その場合どのモデルがよいのかの検証の決め手を欠いている。

筆者も残念ながらそのような検証をしたことがないが、ここでは、反応の全体ではないがかなりの部分を取り入れた従来のモデル中で最も複雑な機構を取り扱っているベル研究所の Graedel 等のモデル (Graedel, et al., 1976) を第1表に示した。彼等のモデルでは、炭化水素としてプロピレンを取り上げている。反応を O-H 無機反応、O-H-N 無機反応、O、O₃ によるプロピレン

の酸化、OH によるプロピレンの酸化、ホルムアルデヒドの除去、アセトアルデヒドの反応、アセトアルデヒドの酸化、プロピオンアルデヒドの反応、ラジカル反応の停止、SO_x の反応の10グループに分けているが、アセトアルデヒド、プロピオンアルデヒド、SO_x の反応は従来のモデル中には組み込まれていなかったものである。表中において、Mは反応速度定数が測定されたもの、Eは推定されたものであるが、推定値がなお多くあることが分かる。

Graedel 等の以上の反応式を含んだモデルによる計算値を、ニュージャージー州ハドソン郡における測定値と比較したものが第1図である。彼等は計算値と測定値の日変化パターンがよく一致していることを強調しているが、濃度値についてはかなり異なっている場合があり、特に SO₂ については測定値が計算値の約半分にすぎない。これは、SO₂ の酸化速度について未知な機構が考えられるとしている。

2. SO₂ の酸化機構

最近、排煙中の SO₂ の変換および沈着について、室内実験あるいは野外観測が精力的に行なわれるようになった。特に後者の数が激増しており、Atm. Env. 誌上には毎号平均1編の研究が掲載されている。

野外観測の方法および結果をまとめると第2表のようになる。もっとも、限られた時間内でのとりまとめのために記載もれのあることについては御了承いただきたい。観測は、単一発生源の煙を飛行機やヘリコプターで追跡したり、地上観測を行なっている場合また多汚染源の場合には、飛行機では煙の流れに直角に飛行して SO₂ 等の流量の変化を調べたり、地上では、風の方向に並んだ複数の測点における観測より変換率を求めたりしている。測定法については、SO₂ はパラロザニリン法、H₂O₂ 吸収液に捕集後トリン法で分析する方法、K₂CO₃ と

* Recent investigation of transformation and deposition of atmospheric constituents.

** T. Okita, 北海道大学工学部.