

# 野外実験と風洞実験による複雑地形上の拡散の比較\*

加藤真規子\*\* 花房 龍男\*\* 角田 道生\*\*\* 林 隆\*\*\*

## 要旨

複雑地形上の比較的近距离の拡散を、野外と風洞の実験で実施し、両者の整合性について比較検討を行った。

対象とした野外拡散の実験時の気象状態がほぼ中立であったため、野外と風洞における気流の相似は、対数則として扱った風速分布を一致させることにより、比較的簡単に得られた。拡散の相似を考慮するためには、風向の変動に関して、複数の風向についての風洞拡散実験結果を重ね合わせることにより、風洞における横方向拡散幅が本質的に野外の場合と異なる点を補った。

比較的近距离の拡散における野外での風向は、風洞内では、いくつかの基本の風向の和として考えることができた。結果として、野外で得られた地上濃度分布は風洞実験により数値的にも良い一致をもって表すことができた。

## 1. はじめに

特定の地域における大気拡散の知見を得るために、地形が複雑な場合などは特にそうであるが、野外実験による方法が多くの日数、人材および多額の費用を必要とする理由から、風洞実験による方法がしばしば利用される。

風洞実験では、大気中の流れを如何に風洞内に再現するかということが大きな問題である。風洞気流と大気中の気流では本質的に異なる点がある。それは一般に野外では風向が絶えず変化しているのに対し、風洞では風向がほぼ一定であることである。したがって、風洞拡散における拡散幅は大気中のそれよりも小さく、よく用いられているパスキル・ギフォード図との比較でも、安定寄りの値が得られ、風下距離についての変化も小さい場合が多い。この点を補うために、風洞上流部に翼列を配置して気流に低周期の乱れを強制的に与える加振法(例え

ば、水本ほか, 1986) や、風向別の濃度分布を風向頻度を重みとして重ね合わせる重合法(例えば、柿島ほか, 1985) によって、風洞拡散での拡散幅をパスキル・ギフォード図に合わせる試みがなされるようになってきた。井手ほか(1985)は、風向変動に逆比例する速度で地形模型を回転させる方法を用いて、水平方向拡散幅  $\sigma_y$  をパスキル・ギフォード図に合わせる試みを行っている。

複雑地形上の気流に関する最近の研究では、北林ほか(1986)が野外での観測資料をもとに、安定時の温度と風速の分布を風洞内に再現する実験を行って、比較的良い結果を得ている。また、野外と風洞実験の整合に関する研究として、Ogawa *et al* (1983) が、基本的な立方体の回りの流れと拡散を、種々の要因について野外と風洞で比較を試みている。

複雑地形上では、野外での詳細な気象観測と拡散実験の結果を得るのが難しいので、風洞拡散実験と比較した例はあまり無い。

本研究では、筑波山周辺の複雑な地形上における拡散を野外と風洞で実施して、両者の整合性について検討し、大気拡散に関する風洞実験の基礎的な資料を得る事を目的とした。そのため、野外では気象観測と拡散実験を実施し、風洞では、野外での気象資料に基づいて模型実験の相似則と風向変動を考慮した実験を行って、両者

\* Comparison of field diffusion experiments with wind tunnel ones over a complex terrain.

\*\* Makiko Kato, Tatsuo Hanafusa, 気象研究所 物理気象研究部

\*\*\* Michio Kakuta, Takashi Hayashi, 日本原子力 研究所環境安全研究部

—1986年9月26日受領—

—1987年4月13日受理—

第1表 Run 8 と Run 9 における、トレーサの放出時刻、トレーサの採取時刻、トレーサ放出量および天候

	Run 8	Run 9
トレーサ放出時刻	13.00—13.30	16.00—16.30
トレーサ採取時刻		
A~J	13.00—14.00	16.00—17.00
K~N	13.30—14.30	16.30—17.30
SF <sub>6</sub> 放出量	10.2 kg	10.9 kg
天候	晴れ	晴れ

の地上濃度分布を比較した。

## 2. 野外実験の概要\*

### 2.1. 概要

約 15 km 四方にわたる筑波地区における実験は、昭和59年10月15日から19日までの5日間、気象観測と10ランの拡散実験を行った。これらの実験のうち、風洞実験の対象となり得たランは、10月18日に行われた Run 8 のみであったが、比較のため Run 9 についても検討を行った。対象とした実験に関して、拡散実験のトレーサ放出の地点(S)、地上におけるトレーサの採取地点(A~N)および気象観測地点(S, M2~M4)の配置図を第8図に示す。風洞実験での風速分布の測定地点は、図中の地点SとM1である。座標は、筑波山頂を原点にして、東の方向へ $x$ 、北の方向へ $y$ をとってある。筑波地区の地形は、筑波山が平野上に孤立峰として在し、筑波山の北側を除けば、開けた平坦な地形となっている。大部分の採取地点は、 $x=1.9$  km 線上と $y$ 軸に対して約-18度傾いた線上にならんでいる。

拡散実験の放出源は、地点S( $x=3.3$  km,  $y=-0.3$  km, 標高 $z=40$  m)の上空200 mを、ヘリコプターで半径200 mの円周上を旋回し、エアトレーサSF<sub>6</sub>を放出した。トレーサは、機体の影響を避けるために重りをつけて45 m釣り下げた放出管より放出し、また放出時間はヘリコプターの重量制限から30分間とした。トレーサの放出時刻、トレーサの採取時刻、トレーサ放出量および天候状態を第1表に示す。各気象観測地点での観測の方法と種目等は第2表に示す。

\* 昭和59年度環境放射能研究委員会の活動報告書, JAERI-memo 60-164, 日本原子力研究所, 1985.

### 2.2. 大気の安定度

気温の鉛直分布を検討してみると、Run 8 実験時は第1図のような分布を示した。実線は、乾燥断熱減率 $\Gamma$ ( $=1^\circ\text{C}/(100\text{m})^{-1}$ )を示す。この図から、Run 8 実験時の大気の安定度がほぼ中立であることが分かる。

Run 9 に関しては、実験時の気温の分布の測定は行わなかったが、実験前後の気温分布が第2図のように得られている。矢印の方向は、ゾンデの上昇と下降を示し、実線は乾燥断熱減率 $\Gamma$ を示す。図から、Run 9 の実験のトレーサ放出時は、日中の中立成層から夜間の安定成層が形成され始めた時点になっていた、安定度は場所、高さによっても異なっていることが窺われる。また、時刻17:00には地上で小さな接地逆転が見られる。

### 2.3. 風速と乱流強度の分布

地点Sにおける風速の鉛直分布の測定は、Run 8 実験時およびRun 9 実験時はその前後に行われた。測定結果を第3表に示す。Run 8 実験時の風速分布は第3図に黒丸印で示すが、便宜的に対数則を適用すると、摩擦速度 $u_* = 0.23$  m/sec, 粗度定数 $z_0 = 0.2$  mとなった。実線および黒三角印は、地点Sにおける風洞実験での分布である。

地点SとM2における、高さ200 mの位置での風速 $U$ の時間変化を第4図の上部に示す。Run 8 実験時の平均風速は $U = \text{約 } 4$  m/sec, Run 9 実験時は $U = 5$  m/sec から $U = 2$  m/secへと変化していったが、このことは第3表の観測値からも分かる。

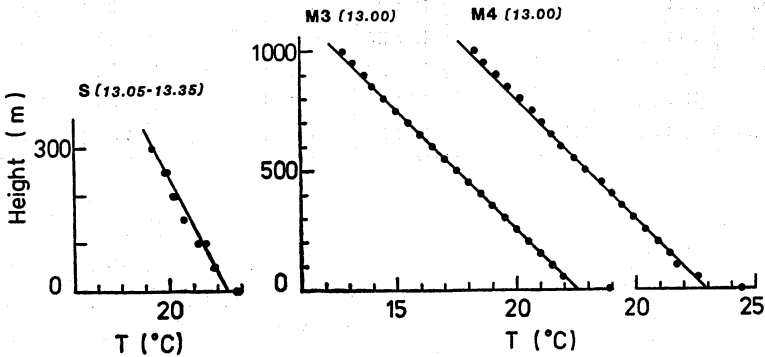
流れ方向の乱流強度 $\sigma_u/U$ の分布を、地点M2の音波ドップラレーダによる観測結果の1時間平均値で第5図に示す。地上100 m以上の高さでも、約20%の乱流強度である。Hanafusa *et al* (1981) が平坦地上の200 m鉄塔で中立時に超音波風速計により観測した結果と比較すると、傾向としては100 m以上での値が大きく、この違いは地形の影響とも考えられる。 $\sigma_u/U$ の1時間の測定値(10分間平均値6個)の全測定高度に対する標準偏差は、Run 8 の場合は0.09, Run 9 の場合は0.08であった。

### 2.4. 風向と風向変動

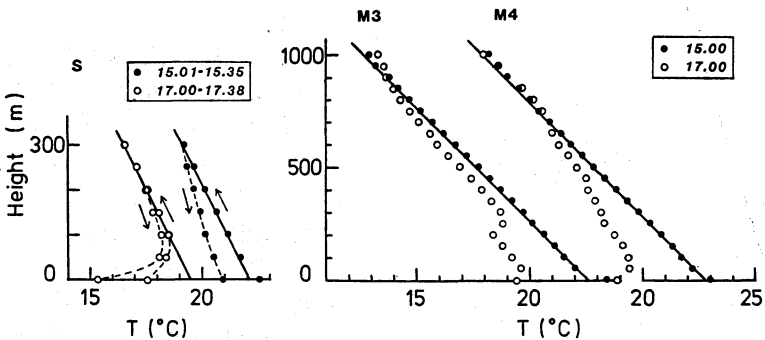
地点Sにおける、Run 8 実験時と、Run 9 実験時前後の風向の高度分布は方位測定で第3表のように得られた。また、地点SとM2における、高さ200 mの位置での風向の時間変化を第4図の下部に示す。図には参考のため、地点Sにおける地上風向を黒三角印で示してある。測定値は、地点M2における2種類の観測が

第2表 各観測地点における、観測の方法、種目、測定高度および測定時間

地点	観測方法	観測種目	測定高度(地技)	測定時間
S	小型係留ゾンデ	温度, 風向, 風速	0~300 m	瞬時値
M2	パイロットバルーン	風向, 風速	50~1500 m	瞬時値
M2	音波ドップラレーダ	風向, 変動風向 風速, 変動風速	100~550 m	10分間平均値
M3	低層ゾンデ	温度	0~1500 m	瞬時値
M4	低層ゾンデ	温度	0~1500 m	瞬時値



第1図 Run 8 実験時の気温の鉛直分布



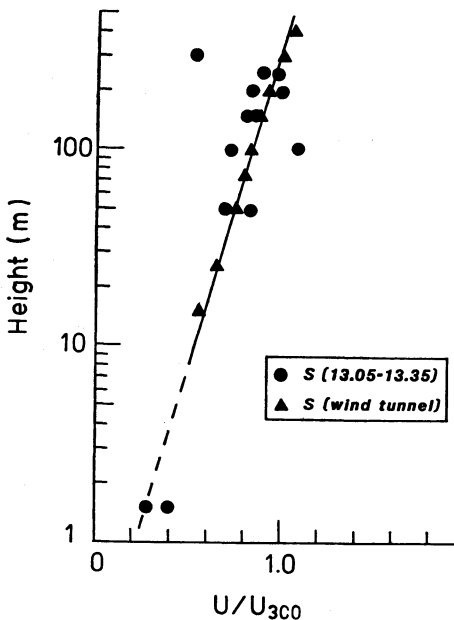
第2図 Run 9 実験の前後の時刻における気温の鉛直分布

角度測定で、地点Sでは方位測定であった。Run 8 実験時の風向は、地点 M2 の観測では ESE から SE の成分が比較的卓越しているが、地点SではE成分も観測されている。一方、Run 9 実験時は風向が ESE から E方向へ変化していった。変動風向  $\sigma_d$  (風向変動の標準偏差) の1時間平均値は第6図に示すように、 $\sigma_d=10 \sim 15^\circ$  であった。 $\sigma_d$  の1時間の測定値 (10分間平均値

6個)の全測定高度に対する標準偏差は、Run 8 の場合は  $6^\circ$ 、Run 9 の場合は  $7^\circ$  であった。地点 M2 における風のベクトル図を示すと第7図のようになる。図を全体としてみると地点 M2 では、Run 8 実験時は比較的定常であり、Run 9 実験時は、風向と風速がいくらか変化して行く過渡的な時点であったことが明瞭に分かる。

第3表 地点Sの各高度における風速と風向の観測値

	高度 (m)	時刻 (JST)	風速 (m/s)	風向	時刻 (JST)	風速 (m/s)	風向	時刻 (JST)	風速 (m/s)	風向
上 昇	1.5	13:03	1.3	E	15:01	2.2	E	17:00	~0	calm
	50	13:05	3.4	E	15:04	2.9	ESE	17:06	0.8	NNW
	100	13:08	4.5	E	15:06	3.7	E	17:09	2.1	ENE
	150	13:11	3.5	E	15:09	3.5	ESE	17:11	2.1	NE
	200	13:13	3.4	ESE	15:12	3.9	E	17:14	3.0	ENE
	250	13:16	4.0	E	15:15	4.9	ESE	17:17	1.4	E
	300	13:19	2.2	E	15:18	4.6	ESE	17:20	1.8	E
下 降	250	13:22	3.7	E	15:22	6.2	ESE	17:24	1.9	E
	200	13:25	4.1	E	15:25	5.4	ESE	17:26	1.2	NE
	150	13:27	3.4	E	15:27	6.5	ESE	17:29	2.2	ENE
	100	13:29	3.0	E	15:30	5.6	ESE	17:32	1.8	ENE
	50	13:32	2.9	E	15:33	5.2	SE	17:35	0.9	NNW
	1.5	13:35	1.7	E	15:35	3.3	SE	17:38	~0	calm



第3図 地点Sにおける風速の鉛直分布 (Run 8 実験時), および風洞実験地点S (風洞) における風速分布

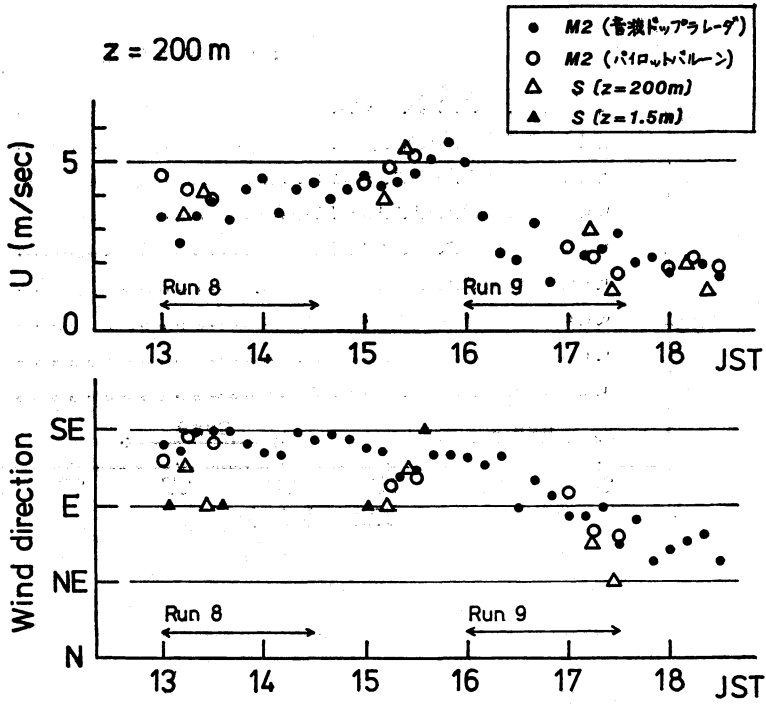
### 3. 風洞実験の概要

実験には, 気象研究所の大型気象風洞 (測定部の大きさ; 幅 3.0m, 高さ 2.0 m, 長さ 18.0m) を使用した。乱流境界層を作るために, 測定部の前部に粗度パネルと

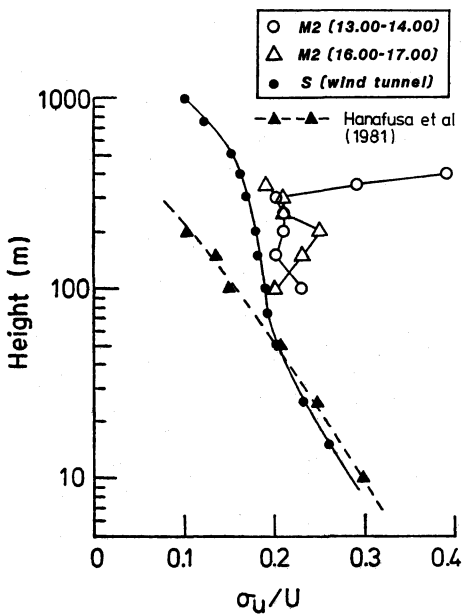
立方体のブロックを乱流発生装置として使用した。風洞主風速  $U_\infty$  は 3.0 m/sec, 成層は中立とした。地形模型は, 野外実験の行われた領域を考慮して, 縮尺 1/5000 の大きさのものを使用した。模型は, 風洞平板上での風速の鉛直分布が距離によって大きく変化しない場所を選んで設置した (加藤, 1985)。なお, 地形模型上の距離は, 断りのないかぎり, 野外での実距離をもって表すことにする。

大気中の気流の状態を風洞内に再現するための相似則は, 力学的な相似の条件として風速分布を一致させた (井上 (1952), 北林 (1985), Townsend (1976), 市街地風研究会 (1978))。ただしこの場合, 風速分布が対数則で表されることを仮定し, 中立大気での変動風速  $\sigma_u$  の値が, 摩擦速度  $u_*$  に比例すること (Hanafusa *et al* (1981), Panofsky and Dutton (1984)) を導入している。熱的な相似に関しては, Run 8 実験時の大気成層状態が殆ど中立であったので風洞内には成層を作らなかった。また, 乱流構造の相似については, 現地における観測を行わなかったため特に配慮はしなかった。

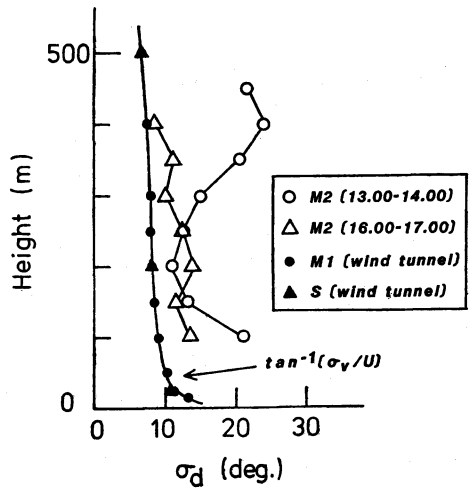
風洞での風速分布は, 定温度型熱線風速計 (DANTEC 計測システム) を用いて, 代表地点として地点SとM1で測定し, 高さ 300m の風速で規格化した地点Sの Run 8 実験時の分布に一致させた。この場合の風洞風向は東風であるが, 地点SとM1では風上側が開けた地形となっていて, 風向が多少変化しても風速分布への影響は殆どなかった。風洞で得られた分布は第3図に実線と黒



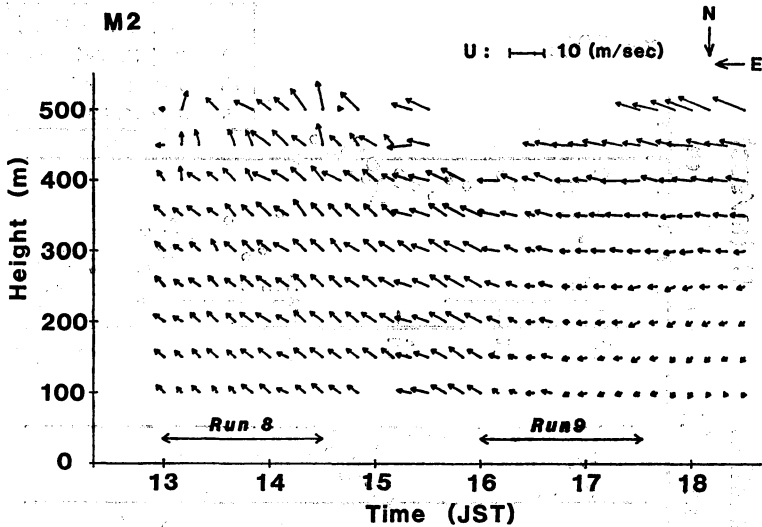
第4図 地点SおよびM2における、高さ200mの位置での風速と風向の時間変化



第5図 地点M2と地点S(風洞)における乱流強度の高度分布



第6図 地点M2における変動風向 $\delta_d$ の高度分布、および地点(風洞)における $\tan^{-1}(\sigma_v/U)$ の分布



第7図 地点 M2 における風のベクトル図

三角印で示してある。点線は風洞風速分布の外挿である。風洞気流中の流れ方向の乱流強度  $\sigma_u/U$  の鉛直分布は、地点 M2 での観測値と比較して第5図に示してあるが、野外での値と同程度の分布となっている。

風向変動に関連して、風洞中で測定した横方向の乱流強度  $\sigma_v/U$  の鉛直分布を角度に換算した値を第6図に黒丸印と黒三角印で示した。当然のことながら、風洞での横方向の乱流強度は、変動風向  $\sigma_d$  の1時間平均値より小さい値となっている。

風洞における拡散実験は、野外での拡散源を近似的に長さ 400 m の線源と考え、地点 S の高さ 200 m の位置からトレーサ（純プロパンガス）を連続放出した。線源の形状は、外形 5 mm のパイプを使用し、長さ 8.0 cm にわたって 4 mm の間隔で直径 1.0 mm の穴をあけて、パイプの両端からトレーサを送り込んだ。トレーサの放出量  $q$  は 30 cc/sec である。濃度は炭化水素濃度計（ベックマン濃度測定システム）により測定した。

実験の風向は、野外実験の風向と  $\sigma_d=10\sim 15^\circ$ （第6図）であることを考慮して、風向 E から SE の間を4分割し、5つの風向を考えた。これらは風向 E から順次番号をつけて、風向 E を (1), ……、風向 SE を (5) とした。ただし、拡散実験は、風向 (1), (3), (5) についてのみ実施し、風向 (2) と (4) については、それぞれ風向 (1) と (3)、風向 (3) と (5) から内挿により求めた。

#### 4. 野外と風洞における拡散実験の結果とその比較

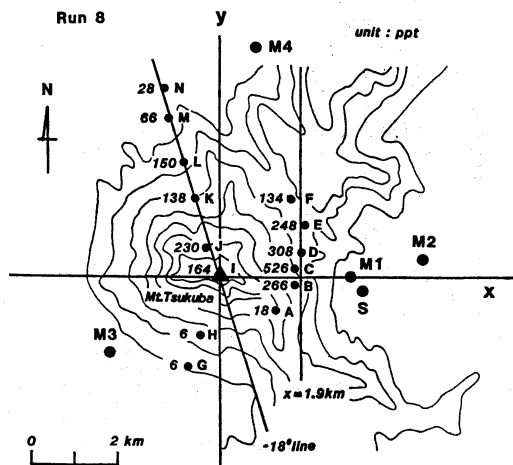
##### 4.1. 野外と風洞における拡散実験結果

野外での濃度測定は、地点 A～N の 1.5 m の高さにおいて、一定吸引量でトレーサを1時間採取し、その平均濃度を求めた。各ランで得た地上濃度値は、バックグラウンド濃度 (3 ppt) を差し引いて2倍した値を第8図と第9図に示してある。2倍した理由については次節で詳しく述べる。

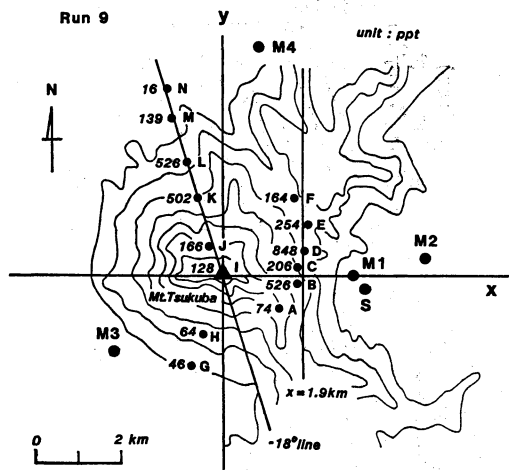
風洞で得られた濃度分布例として、風向 (1) と (3) の場合の、 $x=1.9$  km 線上と  $-18$  度線上の鉛直断面の濃度分布を等濃度線図で第10図に示す。地上濃度分布は、風向 (1)～(5) に対して第11図のように得られた。ただし、風向 (2) と (4) の分布は、以下のようにして求めた。濃度分布を測定した風向 (1), (3), (5) についてみると、ある程度地形の影響を受けていると考えられるにもかかわらず、比較的正規型に近い分布を示し、ピーク濃度値も大体系的に変化している。そこで、風向 (2) の濃度分布は、風向 (1) と (3) の分布のピーク濃度値を一致させて重ね合わせることで、その中間の分布を求めて風向 (2) の分布とした。そのピーク濃度の位置は、風向 (1) と (3) の分布の中間点とした。風向 (4) の分布も風向 (3) と (5) から同様にして求めたものである。

##### 4.2. 野外で採取した濃度値についての考察

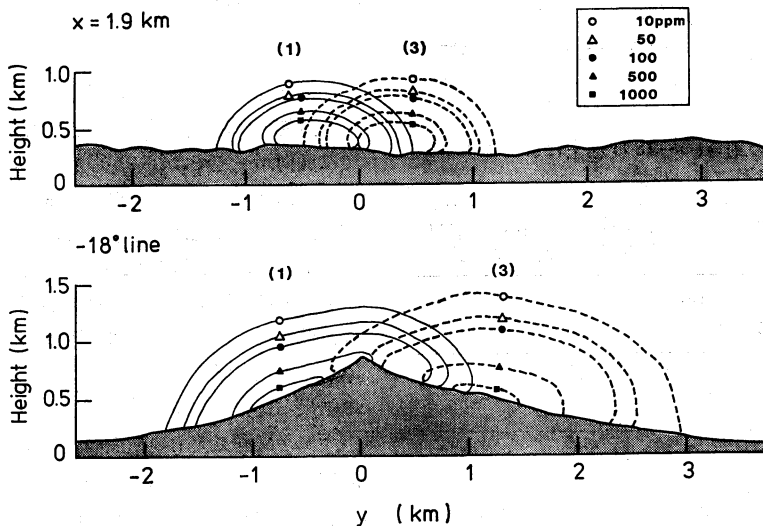
第8図と第9図に示した濃度値は、以下の理由により連続放出の場合の近似的な定常時の濃度と考えることが



第8図 Run 8 実験で得られた地上濃度分布



第9図 Run 9 実験で得られた地上濃度分布



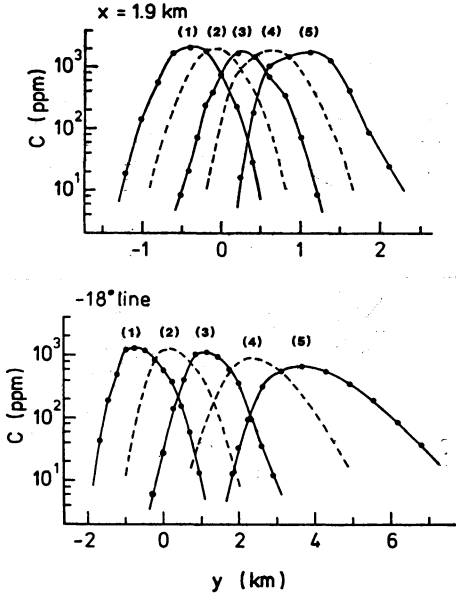
第10図 風向(1)と風向(3)の場合、各風下距離における鉛直断面の濃度分布図

できる。

まず、各地点でのトレーサの採取が、トレーサの全通過時刻を捕らえているかどうかを検討する。

トレーサの流れは、大きく2つの段階に分けて考えられる。第1段階では、地点Sにおける高さ200mの位置の風速で  $x=1.9$  km 線上(標高は230~350m)へ到達する。第2段階では、 $x=1.9$  km 線上から山腹に沿って、地上付近を流れていったと考える。Run 8 実験時は放出源の平均風速は約 4 m/sec なので、 $x=1.9$  km

線上への到達時間はトレーサ放出後7~11分となる。したがって、この線上での採取は、疑いなくトレーサの全通過時刻を捕らえている。さらに、第2段階の-18度線上への到達は、地上1.5mの高さの平均風速 1.5 m/sec を適用し、-18度線上の数地点について、トレーサのおおよその通過時刻を計算すると、第4表ようになる。第4表から、地点K~Nのように採取時刻が30分遅れた場合でも、トレーサの採取はトレーサが通過したほぼ全時間帯を捕らえていると考えることができる。



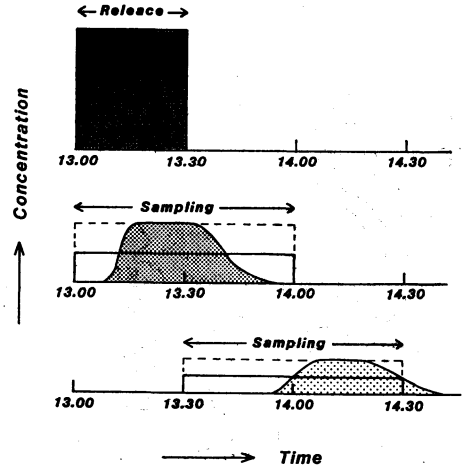
第11図 風向(1)~風向(5)に対する各風下距離の地上濃度分布

第4表 Run 8 の場合、-18度線上におけるトレーサの通過時刻の概算

地点	コースと距離 (km)	トレーサ採取時刻	トレーサ通過時刻の概算
I	S → B → I 1.6 1.7	13.00-14.00	13.26-13.56
J	S → C → J 1.7 2.0	13.00-14.00	13.29-13.59
K	S → D → K 1.7 2.8	13.30-14.30	13.38-14.08
N	S → F → N 2.7 3.9	13.30-14.30	13.55-14.25

Run 9 の場合についても、第1段階の放出源の平均風速 3.3 m/sec と、第2段階の地上の平均風速 1.5 m/sec を用いて同様の計算をすると、トレーサの採取はおおよそ全通過時刻を捕らえていることが分かる。

以上の考察から、トレーサが各測定地点で、近似的に定常濃度で30分間通過したと考えると、その模式的な図は第12図のようになる。1時間にわたって採取したトレーサは、実線の短形の面積にはほぼ等しく、その平均の濃度値は、連続放出の場合の定常時濃度の約1/2に等し



第12図 トレーサの採取時刻が異なる場合、濃度の時間的変化と採取した平均濃度値の等価的な図

い。すなわち、トレーサの採取で得られた2倍の濃度値が、連続放出時の近似的な定常濃度と考えられる。野外では風向が一定ではないが、第12図の模式図を、風向変動も含んだ野外の風向に対する濃度と考えれば、比較的定常な場合には上述の近似は野外にも適用できる。

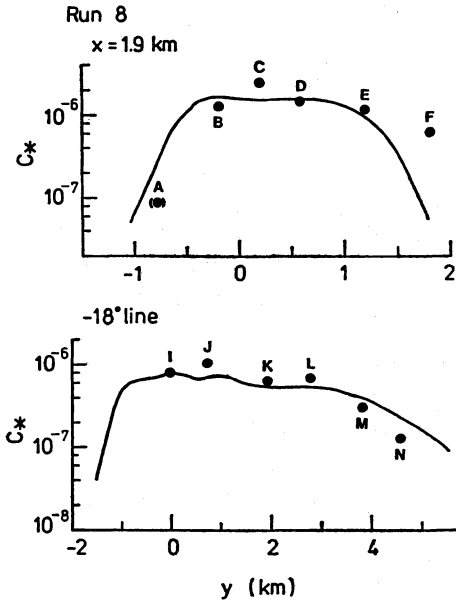
4.3. 野外と風洞の濃度分布の比較

野外拡散実験で得られた地上濃度(第8図と第9図)は、前節で考察したように、近似的に連続放出の定常時における値と考えられるので、その濃度分布を風洞実験の結果と比較をすることができる。

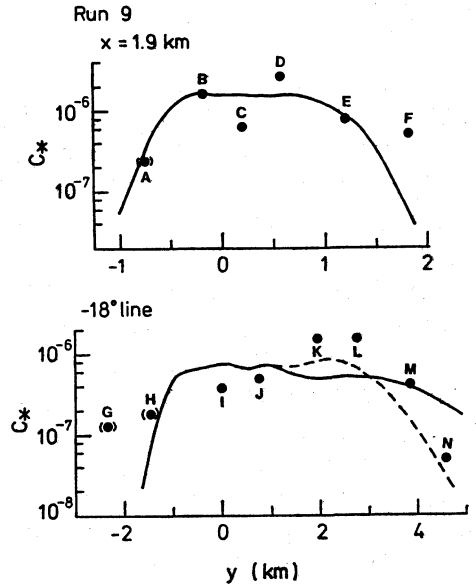
大気と風洞気流中の拡散の相似は、両者の気流の相似条件の他に、乱流構造の点から、乱流強度と乱れのスペクトルの相似が、トレーサの拡散していく角度の一致を与える(北林, 1985)。今回の実験では、乱れのスペクトルを測定していないので、乱流構造に関しての相似性は分からない。しかし、少なくとも、平均風速と乱流強度は相似にしたので、拡散についての相似も期待はできる。

野外と風洞で、単一の風向に対する拡散を考える。両者の拡散源は有限な大きさをもったものであるが、ここでは、拡散源に対する濃度分布の関数の形については問わないことにし、横方向と鉛直方向の濃度分布関数が独立で、それぞれ  $F(y)$ ,  $G(z, H)$  で表されるとする。 $H$ は放出源の高さである。また、横方向と鉛直方向の拡散幅はそれぞれ  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  とする。





第13図 野外実験で測定した無次元濃度（黒丸印）と、野外の風向変化を考慮して濃度分布の合成により得られた風洞での無次元濃度分布（実線）の比較（Run 8）



第14図 野外実験で測定した無次元濃度（黒丸印）と、野外の風向変化を考慮して濃度分布の合成により得られた風洞での無次元濃度分布（実線）の比較（Run 9）

野外と風洞における拡散が相似であると仮定すると、両者の濃度  $C$  は各風下距離について次式で表される。

$$C_i(y, z) \propto \frac{q_i}{U_i} \cdot \frac{1}{\sigma_{yi}\sigma_{zi}} \cdot F(y)G(z, H) \quad (1)$$

$$i=f \text{ or } w \quad (2)$$

ここで、 $C$  は濃度、 $q$  は単位時間当たりの放出量、 $U$  は放出源の位置での風速であり、 $\alpha$  は比例定数である。また  $i$  は添字で、 $f$  は野外を表し、 $w$  は風洞を表す。模型の縮尺率を  $\alpha$  とおくと、 $\alpha=1/5000$  であるから、拡散幅は当然次式の関係をもっていることになる。

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{yf} &= \alpha \sigma_{yf} \\ \sigma_{zw} &= \alpha \sigma_{zf} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

野外と風洞における濃度を絶対値で比較するために、濃度  $C$  を  $q$  と  $U$  で規格化し、さらに  $\sigma_y$  と  $\sigma_z$  で無次元化した濃度  $C_*$  を次式で与える。

$$C_{*i}(y, z) = \frac{C_i(y, z)U_i}{q_i \cdot \sigma_{yi}\sigma_{zi}} \quad (\equiv F(y)G(z, H)) \quad (4)$$

いまの段階では、各風下距離の  $\sigma_y$ ,  $\sigma_z$  の値を直接知る必要がないので、簡単のため、野外における値を単位量として

$$\left. \begin{aligned} \sigma_{yf} &= 1(\text{m}) \\ \sigma_{zf} &= 1(\text{m}) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

とおくことにすると、野外と風洞における地上無次元濃度  $C_{*f}$  と  $C_{*w}$  は次式のようになる。

$$C_{*f}(y, 0) = \frac{C_f(y, 0)U_f}{q_f} \quad (6)$$

$$C_{*w}(y, 0) = \alpha^2 \frac{C_w(y, 0)U_w}{q_w} \quad (7)$$

(6) 式と (7) 式から、拡散が相似である場合、野外で相当する規格化濃度 ( $C, U/q$ ) は、風洞での規格化濃度に、野外での長さに対する風洞での長さの比 (ここでは  $\alpha$ ) の二乗を乗じたものに等しいことが分かる。

#### 4.4. 地上濃度分布の比較

前節では、単一の風向の拡散について検討したが、野外での風向は絶えず変化をしていて、風洞のような単一の風向ではない(第7図)。ここでは、野外でのある時間内の風向を、いくつかの風向の和として考えてみる。実験時の風向が Run 8 の場合はほぼ定常であったと考えられ、Run 9 の風向はある程度時間的に変化していったことは2節にも述べたが、両 Run とも風向は、だいたい風向 E から SE の間にある。また、Run 8 実験時についてみると、地点 M2 では風向 SE から ESE の成分が卓越しているものの、第3表の地点 S の風向は E 成分を示している。しかも実験時間が短いので、実験時

間内の風向頻度分布を考慮するには観測データの数も少なく、各測定値にどの程度の重みをかければよいかも分からない。したがって、ここでは風向を無理に細かく扱うことは避け、第6図の $\sigma_d$ の値も考慮して、風向(1)~(5)が等しい重みで変化したとおおまかに考えることにした。ただし、変化した風向の順序については考えないことにした。Run 9 実験時については、さらにデータ不足であるが、風向はSE方向からE方向へ変化していることが認められるので、Run 8と同様に風向(1)~(5)の重ね合わせと考えることにした。そうすると、野外の濃度分布に相当する風洞での分布は、第11図で得た各風向の濃度を重ね合わせて得られる。その場合、(1)式における拡散幅、濃度分布関数および比例定数等は各風向によって異なることになるが、今回のように、各風向の重ね合わせとして濃度 $C$ を求めている場合は、問題にはならない。ただし、 $C_{*w}$ の値は重ね合わせた風向の数で除した値となる。

以上のことから、(6)、(7)式による無次元濃度分布を各風下距離について、第13図(Run 8)および第14図(Run 9)に示す。3地点A、G、Hは測定線上から少しはずれているので濃度値にカッコをしてある。無次元濃度を求めるために使用した $U$ (m/sec)と $q$ (m<sup>3</sup>/sec)の値は、Run 8の場合、 $U=3.8$ 、 $q=8.7 \times 10^{-4}$ 、Run 9の場合、 $U=3.3$ 、 $q=9.3 \times 10^{-4}$ 、風洞実験では $U=1.6$ 、 $q=3.0 \times 10^{-5}$ である。 $\alpha$ 値は $\alpha=1/5000$ である。なお、風速値は地上200mにおける平均風速とし、野外実験では、Run 8の場合は地点S、Run 9の場合は実験時の地点Sでの観測が行われていないので、地点M2における値で代表した。

第13図、第14図の結果では、野外実験の地上濃度分布が風洞実験の5つの風向の濃度の等しい重みづけの重ね合わせでも良く表され、数値的にも比較的良く、一致している。特に、Run 8の場合は、大気の安定度が中立で、流れの場も比較的定常であったために良い結果が得られたものと考えられる。一方、Run 9の濃度分布は、Run 8の場合よりも一致の度合いが少し落ちる。これは実験中に風向、風速、気温の分布などが変化し、流れの場が幾分非定常であったことが原因であろう。

Run 9の場合、風向が時間的に変化していった点を次のように扱ってみる。拡散の第1段階でSEの風向成分が、 $x=1.9$ km線上に到達後に、東寄りの風向に変化したと考える。すなわち、 $-18$ 度線上での濃度分布を、風向(1+2+3+4+4)によるものとして求めてみ

ると、第14図の点線のようになり、少し一致が良くなる。この処理の定量的な根拠はあまり強くないが、この結果によって、野外での風向の正確な測定が必要であることが分かる。

## 5. 検討と結論

野外での気象資料に基づいて風洞実験を行った結果、野外における地上濃度分布は風洞拡散実験の結果でかなり良く表された。そして、中立成層における比較的近距离の野外拡散は、次の2点を考慮することによって、近似的に風洞模擬実験が可能であることが分かった。

(1) 野外と風洞における拡散の相似に関しては、風速と乱流強度の鉛直分布を一致させる。

(2) 野外での風向変動を基本的な風向に分割して考え、各風向の風洞拡散実験結果を野外の風向頻度を考慮して重ね合わせる。

以上のような結果が得られた理由としては、次の様なことが考えられる。野外での流れの場が比較的定常であったので(Run 8の場合)、野外での気流が風洞内に良く再現されたこと。拡散領域があまり遠距離にわたっていなかったため、野外拡散で、連続放出の近似的な定常時に相当する濃度が測定でき、風洞実験との比較が可能であったこと。放出源がある程度有限な大きさを持っていたので、野外での濃度測定の精度が向上したこと。等が考えられる。

本研究は、野外拡散の実態を把握し、風洞において大気拡散を模擬する実験法を得るための一端である。さらに、大気拡散の風洞での実験法を確立するためには、野外における詳細な気象観測と拡散実験が望まれ、風洞実験においても、熱的な条件を加味した基礎実験の集積と、非定常な場への適用の研究が必要である。

本研究を行うにあたり、日本原子力研究所環境放射能研究委員会気象・風洞専門部会(部会長、竹内清秀元気象研究所長)の委員の方々には有益な議論とご助言をいただきました。ここに感謝の意を表します。また、前部会長、故坂上治郎お茶の水女子大学名誉教授にも多くの御助言をいただきました。ここにご冥福をお祈りして、感謝の意を表します。

なお、本研究の風洞実験は、科学技術庁原子力試験研究費(気象研究所、昭和56~60年度)により、また、野外実験は、同庁原子力平和利用研究開発費(日本原子力

研究所, 昭和55~60年度) により行われたものである。

文 献

Hanafusa, T. and T. Fujitani, 1981: Characteristics of high winds observed from a 200m meteorological tower at Tsukuba Science City, Pap. Met. Geophys., 32, 19-35.  
 井手靖雄, 岡本汎貴, 大串公男, 1985: 重合法による風向変動風洞内再現, 第26回大気汚染学会講演要旨集, 515.  
 井上栄一, 1952: 地表風の構造, 農業技術研究所報告A2, 78-82.  
 柿島伸次, 通地克三, 中井真行, 千秋鋭夫, 大場良二, 西島茂行, 1985: 発電用原子炉施設の安全解析のための風洞実験手法の研究, 電力中央研究所報告, 総合報告 219.  
 加藤真規子, 1985: 乱流境界層中の乱れの減衰とその拡散への影響 (風洞実験), 天気, 32, 511-522.

北林興二, 1985: 模型実験の相似律, 気象学における流体実験, 気象研究ノート No. 152, 6-12.  
 北林興二, 吉門 洋, 近藤裕昭, 横山長之, 1986: 複雑地形上の安定成層気流の観測と風洞実験, 公害, 21, 117-127.  
 水本伸子, 藤本達見, 1986: 渦発生器加振による水平方向拡散幅の検討 (風洞実験), 第27回大気汚染学会講演要旨集, 723.  
 Ogawa, Y., S. Oikawa and K. Uehara, 1983: Field and wind tunnel study of the flow and diffusion around a model cube I, II, Atmos. Environ., 17, 1145-1171.  
 Panofsky, H.A. and J.A. Dutton, 1984: Atmospheric turbulence, John Wiley & Sons, 159-160.  
 市街地風研究会 (佐藤 鑑他), 1978: 市街地風の研究, オーム社, 71-73.  
 Townsend, A.A., 1976: The structure of turbulent shear flow, 2nd ed., Cambridge Univ. Press, 53-59.

第34回 風に関するシンポジウム講演募集のお知らせ

標記シンポジウムを下記のとおり開催致しますので、奮ってご応募ください。

記

共 催: 地震学会, 土木学会 (幹事), 日本海洋学会, 日本気象学会, 日本建築学会, 日本航空宇宙学会, 日本地理学会, 日本農業気象学会, 日本林学会, 日本流体力学会, 日本風工学会

日 時: 1987年12月1日 (火)

会 場: 土木学会土木図書館講堂 (東京都新宿区四谷1丁目無番地・国電・地下鉄「四ツ谷駅」下車・徒歩5分)

参加費: 無料 (自由参加)

講演募集要領:

- (1) 応募者は, A4判用紙1枚に下記事項を記入し必ず郵送で応募する。

題目・講演者氏名 (連名の場合は講演者に○印)

・所属学会・勤務先・電話番号・講演要旨 (100字程度)

- (2) 講演募集の締切りは, 1987年8月31日 (月) (消印有効)

講演開催要領:

- (1) 講演時間は, 1講演15分程度 (応募題数により変更もある)
- (2) スライド・OHP の使用は可。
- (3) 前刷集は作成致しません。

懇親会: 講演終了後, 土木学会会議室にて開催の予定  
 申込み・問合せ先:

〒160 東京都新宿区四谷1丁目無番地  
 土木学会「風に関するシンポジウム係」  
 TEL. 03-355-3441 内線 161. 黛 巖