

# 複雑地形上におけるエアトレーサー拡散実験 と山谷風の観測\*

岡本 眞一\*\*・大石 大和\*\*\*・長沢 伸也\*\*\*\*・塩沢 清茂\*\*\*\*\*

## 要旨

複雑地形上における煙の拡散に影響を及ぼす気象条件を把握するために、栃木地区において、パイロットバルーン、低層ゾンデなどによる気象観測及びエアトレーサー拡散実験を実施した。この結果より、山谷風の発生時などの風速と気温の鉛直分布、山風 (drainage flow) 中でのトレーサーの拡散幅などを検討した。

## 1. まえがき

起伏のある地形上では、障害物によって影響を受けて複雑な拡散場が形成されるので、平坦地上での煙の拡散とは異なり、扱いが困難である。さらに、起伏の大きい地域では、対象とする拡散調査の範囲が地表面の凹凸の波長に比較して大きい場合には、煙の流れは対象地域全体の平均的な風によって支配される。したがって、地表面の起伏によって生ずる大気の乱れのために、煙の拡散幅が大きくなる傾向がある。また、注目する範囲の大きさが地表面の凹凸の周期に比べてあまり大きくない場合、あるいはより小さい場合には、地表面の起伏の影響は、大気の乱れの状態よりも平均的な風の場に対して大きく表れ、煙の流れる方向はこの地形の影響を受けた局地風によって支配される。起伏のある地域における煙の拡散に影響を及ぼす大きな要因としては山谷風の循環がある。日中には、山側の斜面に沿って風が上昇し、夜間は山側の斜面に沿って下降する。前者を谷風、後者を山風と呼んでいる。この山谷風も山間地域での大気拡散に大きな影響を及ぼす要因である。

谷の中を吹き下ろす山風 (drainage flow) は地表近くの薄い層内で強い逆転層を形成することがあり、地面近

くから排出された汚染物質による濃度が非常に高くなるので、地熱エネルギー開発に伴う  $H_2S$  の拡散問題と関連して、多くの拡散実験や気象観測が行われている。たとえば、Clements (1980) の拡散実験、Nappo (1981) の気象観測などが地熱エネルギー開発計画のある Geysers 地区で行われており、これらの実験などは ASCOT (Atmospheric Studies in Complex Terrain) 計画の一部である。また、Southwest Energy 計画に関連した Navajo 発電所、Huntington Canyon 発電所ではトレーサー拡散実験、飛行機による煙流観測 (煙流中の  $SO_2$  濃度測定) なども行われており、NOAA モデル及び VALLEY モデルとの比較検討が行われている。また、谷を吹き下ろす drainage の中における拡散実験及び気象観測の例としては Archuleta (1978)、Gedayloo (1979)、Nappo (1981) などがある。

このような複雑な地形上における山を越える気流や、山谷風など山間地域特有の気象条件下における拡散特性を把握するために、地上及び上層での気象観測とエアトレーサー拡散実験を行った。なお、この観測は起伏ある地形上における大気拡散シミュレーションモデルの開発に必要な諸資料を得ることを目的として実施したものである。この拡散モデルについては岡本 (1982) などに報告してあり、ここでは現地観測での結果のみを報告する。

## 2. 観測対象地域、期間及び観測方法

本観測の対象地域は尾尾山地より流れ出る永野川に沿った谷が関東平野と境を接する栃木市及びその周辺の約 10 km 四方の範囲である。この範囲を第 1 図に示す。こ

\* Air tracer experiment and observation of drainage flow in complex terrain.

\*\* Shin'ichi Okamoto, 社団法人産業公害防止協会.

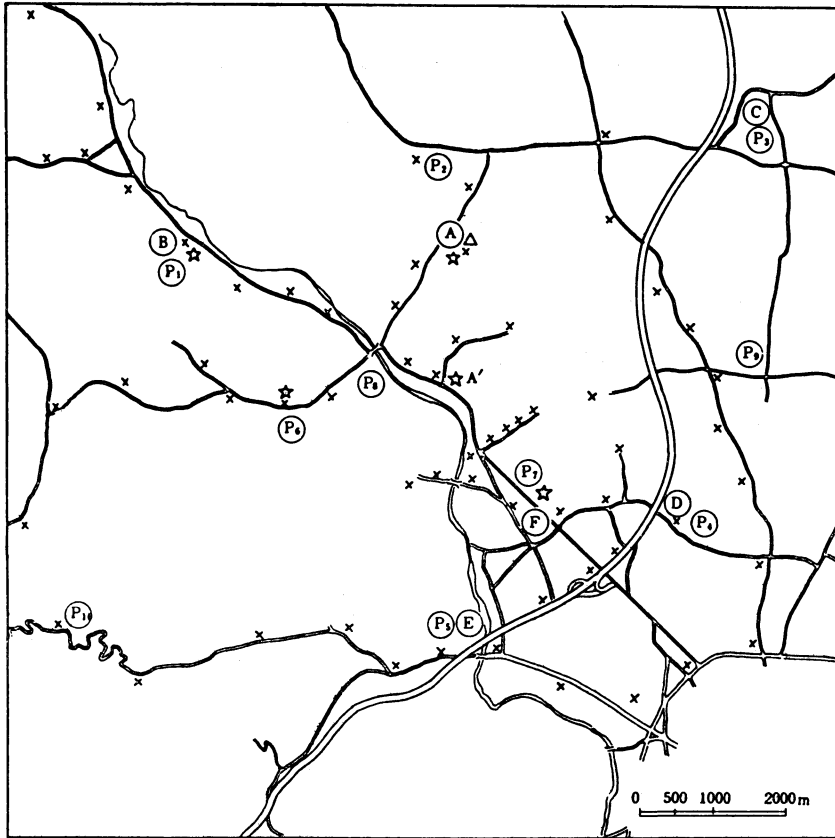
\*\*\* Yamato Oishi, 日本鋼管株式会社.

\*\*\*\* Shinya Nagasawa, 明治大学工学部.

\*\*\*\*\* Kiyoshige Shiozawa, 早稲田大学理工学部.

—1983年10月14日受領—

—1984年2月21日受理—



測定名称	測定地点番号及び記号
地上風向風速観測	A, B, C, D, E, F
日射量, 放射収支量測定	A
地上気象観測	A
上層風向風速観測	A, P <sub>1</sub> , P <sub>2</sub> , P <sub>3</sub> , P <sub>4</sub> , P <sub>5</sub> , P <sub>6</sub> , P <sub>7</sub> , P <sub>8</sub> , P <sub>9</sub> , P <sub>10</sub>
上層気温観測	A
SF <sub>6</sub> ガス噴霧	A, A', F, P <sub>1</sub> , P <sub>6</sub>
SF <sub>6</sub> ガスサンプリング	図中の×印

- Ⓐ 微風向風速計
- Ⓟ パイロットバルーン
- ☆ トレーサー噴霧地点
- △ 低層ゾンデ, 日射計及び放射収支計
- × エアサンプラー

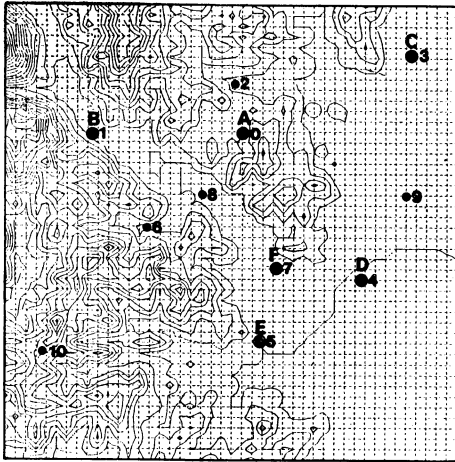
第1図(a) 測定地点配置.

の第1図において, 平野部は, 約50~100mの高度であり最高地点の標高は約600mである.

この観測は1980年12月16~18日(冬季)と1981年4月14~17日(春季)に行い, この期間中に合計13回の上層気象観測及びエアトレーサー拡散実験を実施した. 各1回の実験では, 30分おきに3回のパイロットバルーンの観測, 1時間おきに3回の低層ゾンデ観測及び, トレー

サーガスの噴霧捕集を行った. なお, 全観測期間を通じて, 地上風向風速, 日射量, 放射収支量の観測を行った.

第1図には, パイロットバルーン, 低層ゾンデ, 地上風向風速の観測地点も示してある. なお, パイロットバルーンによる上層風観測地点は P<sub>1</sub>~P<sub>10</sub>の10地点であるが, 冬季観測では P<sub>1</sub>~P<sub>9</sub>の9地点を使用した.



第1図(b) 測定地点(パイロットバルーン:1~10, 地上風向風速計:A~F)の配置。メッシュの間隔は250m, 等高線は50m間隔。

トレーサー噴霧は90分間として、噴霧開始30分経過後より大気の捕集を開始し、60分間のサンプリングを行った。パイロットバルーンの観測は、大気サンプリングの開始時、終了時、及び中間の3回とした。また、各Runにおけるトレーサー噴霧量などを第1表に示す。トレーサーガスとしては、SF<sub>6</sub>を使用し、噴霧点は風系により移動させた。各地上観測点及びパイロットバルーンにおける実験時間の約1時間前の観測結果を参考にしてトレーサー噴霧点を決定した。噴霧高度は地上の高さとし、トレーサーガスボンベに減圧弁と流量計をセットし、約18l/分に制御した。トレーサーガスのサンプリングにはオートエアサンプラを使用し、吸引量は0.2l/分、吸引口の高さは地上高1.5mとして、サンプリング時間は1時間とした。またサンプリング地点の約半数は固定し、約半数は風向によって移動し、各Runごとに30~40地点で大気を捕集した。さらにこのエアバッグに捕集した大気は電子捕獲型検出器(ECD)を内蔵したガスクロマトグラフにより分析した。

3. 調査経過

冬季観測期間中は弱い冬型の気圧配置が続き、調査地区では期間中を通じて晴天であり、山谷風が顕著にあらわれた。冬季の観測期間中にRun 1~7を実施した。

春季観測期間中は比較的気圧配置の変化が早かった。観測開始前日に東海上へ抜けた低気圧に吹き込む北

西風が第1日目は強く吹いた。2日目は移動性高気圧におおわれて晴れたが、午後からは次第に薄雲が多くなった。3日目は終日雨が降り続き、観測は中止した。4日目は再び高気圧におおわれ、朝からほぼ快晴となった。春季観測では第1日目にRun 8~10, 2日目にRun 11, 12, 4日目にRun 13を実施した。

4. 地上風向風速の観測

地上での風向風速は第1図に示すA~Fの6地点に微風向風速計を設置して観測を行った。この微風向風速計は、小学校などの屋上に設置され、この設置高度は14~25mの範囲である。全般的に風が弱い冬季調査ではA~F地点での風向の変化が大きい。しかし、強い風が吹いた春季調査では、比較的風向に差が見られない。ここで冬季第1日目における地上風の hodograph を第2図に示す。

冬季においては、第2日目、第3日目もほぼこれと類似の傾向にある。

B地点とF地点は同じ永野川に沿う谷の中であるが、A地点は少し離れた地点にあり、異なる風向となることが多い。永野川に沿う北西風(山風)の場合、局地的な地形の影響などによりA地点では西南西の風向となる場合が多い。谷風の場合、A~Fの全地点で東~南の風向となるが、E地点ではやや東寄りの風になる傾向が見られる。

永野川に沿う谷は関東平野から西北方向へ延びており、長さは約20km程度である。F地点(千塚小学校)はこの谷の入口にある、また、B地点(寺尾中央小学校)はこの入口より約6km上流へ遡上した位置にある。この2地点での山谷風の発生時刻を比較すると、第2表に示すようにF地点の方がやや早い傾向にある。

5. 上層風の観測

各Runにおいては、30分間隔に3個の気球を放球して観測を行った。この3個のデータを各高度ごとにベクトル平均して求めた平均風向・風速のベクトル図の1例を第3図に示す。3個のデータのうち2000m未満の高度で観測を打ち切ったデータを含む場合には、残りのデータでベクトル平均を求めた。

5.1. 冬季観測

冬季観測期間中は弱い冬型の気圧配置であったため、3日間ともに山谷風の発生が見られた。この期間中の特徴をあげると次のようである。

第1表 エアトレーサー噴霧条件及び噴霧時の気象条件.

Run No.	時間	噴霧地点	噴霧量 (kg)	噴霧強度 (cm <sup>3</sup> /s)	風向	風速 (m/s)	風向 (16方位)	風速 (度)(m/s)	日射量 (cal/cm <sup>2</sup> /h)	放射吸収量	天気	雲量	大気安定度	備考
					(千塚小学校)	(m/s)	(0~50m)							
1	10:31~12:01	A'	9.69	280.4	SE	1.0	*SE	134 1.0	21.4	12.5	⊙	7	B	風向変化により濃度分布が大気捕集網の外となる。
2	16:00~17:30	A'	10.99	314.5	NW	2.7	*NNW	329 2.9	0.5	-5.3	⊙	4	F	
3	10:30~12:00	F(P <sub>7</sub> )	10.54	308.2	SE	2.4	SE	121 2.1	38.6	24.5	⊙	4	B	
4	14:00~15:30	A	10.51	308.5	NNE	2.1	**N	10 4.4	8.7	1.6	⊙	4	C	
5	18:30~20:00	A'	11.19	317.9	NW	2.9	*NNW	340 2.4	0.0	-6.4	⊙	1	F	
6	10:30~12:00	F(P <sub>7</sub> )	10.64	310.1	SSE	1.7	SE	132 1.5	26.2	14.6	⊙	6	AB	
7	16:00~17:30	A'	11.14	320.0	NW	2.1	*NW	326 2.3	0.4	-6.4	⊙	0	F	
8	12:30~14:00	P <sub>6</sub>	9.54	287.9	SW	6.1	W	269 4.9	67.8	39.6	⊙	3	C	
9	16:00~17:30	B(P <sub>1</sub> )	9.62	288.3	NW	10.4	NW	318 6.0	14.9	2.4	⊙	4	D	
10	19:30~21:00	B(P <sub>1</sub> )	9.74	288.9	WNW	3.5	W	267 5.9	0.0	-8.2	⊙	5	D	
11	6:30~ 8:00	B(P <sub>1</sub> )	9.86	285.3	NNW	1.6	NNW	346 0.8	24.7	12.4	⊙	6	B	
12	12:30~14:00	F(P <sub>7</sub> )	9.50	286.7	S	4.3	SSE	168 5.4	48.0	27.6	⊙	9	CD	
13	11:00~12:30	F(P <sub>7</sub> )	9.69	292.5	E	3.1	E	79 2.2	77.0	49.5	⊙	2	B	

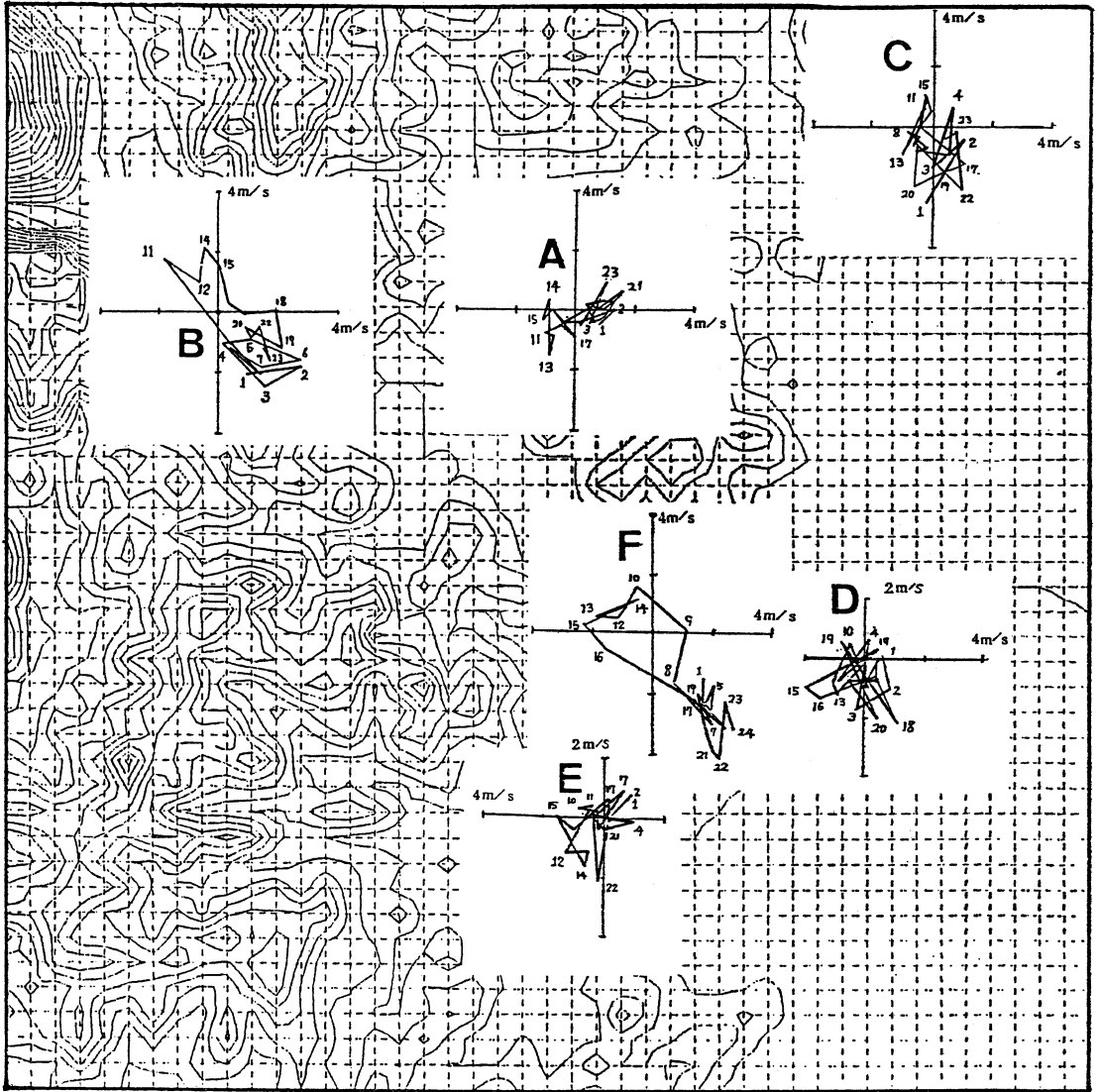
(注) \* A'地点に近い P<sub>7</sub> 地点のデータを記入した。  
\*\* 低層ゾンの0~100 m データ.

第2表 山谷風の発生時刻.

	谷風の発生時刻		山風の発生時刻		
	B 地点	F 地点	B 地点	F 地点	
冬季	第1日	10:20	9:25	16:05	16:10
	第2日	9:30	9:15	15:45~16:40*	15:50
	第3日	10:20	9:50	16:20	15:45~16:20*
春季	第1日	**	**	**	**
	第2日	8:00	7:50	20:10~21:05*	21:30
	第3日	**	**	**	**
	第4日	9:15	7:30	**	**

(注) \* 変化時刻が明瞭でない(一度山風が吹いた後, 他風系が入っている).  
\*\* 一般風が強いためあるいは降雨日であるために, 山谷風が生じない.

- i) 各日ともに, 1日単位で周期的な変化がみられる。10 m/s 程度の一般風が卓越している。これは冬季の季節風であると考えられる。
- ii) 各日の下層での風向差がみられる。この3日間ともに, 同様の日周変化パターンを示しているものと思われる。すなわち, 早朝8~9時頃までは
- iii) 上層, とくに 1400 m 以上では, 北~北西の5~



第2図 1980年12月16日の地上風ホドグラフ。

地表近くでは山風と考えられる北寄りの風となっているが、10時頃より谷風が変わっている。この谷風の層の厚さは、谷風発生1~2時間後においては200~400 m程度である。昼頃より午後にかけて北~北東~東の風が500 m以下の下層で吹いている。4時頃より、100 m以下の地表近くに山風が生じても、500 m以上の上層の一般風との間の薄い層に、この東寄りの風が残っている。冬季観測3日目のRun 7では、この東寄りの風の層はなく、地表近くの山風の上に西南西の一般風の層がある

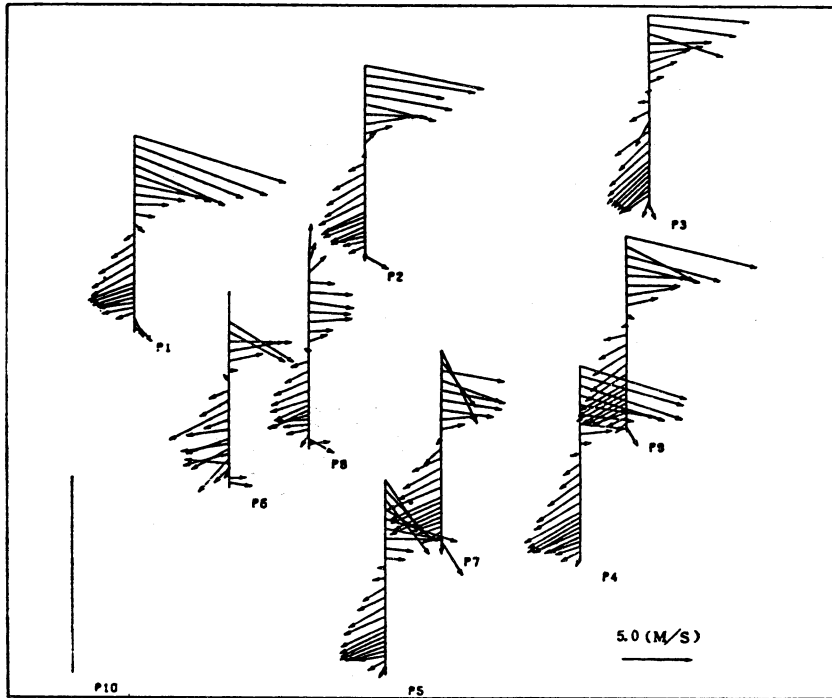
が、平野部のP<sub>4</sub>、P<sub>9</sub>地点では、この西南西の風の層が地表まで達しており、山風の影響は見られない。

### 5.2. 春季観測

調査期間中、天気の変化が早く、春季第1日(4月14日)は北海道付近にある低気圧が発達したために西あるいは北西の風が強く吹き、Run 8~10においては、地上でも10 m/s以上となっている。とくに風が強いRun 9においては、永野川の谷に沿ったP<sub>1</sub>、P<sub>8</sub>、P<sub>7</sub>において、500 m以下の層で北西風が非常に強く、風向と谷の方向

## 風向風速分布図

RUN 2



第3図 パイロットバルーン観測による風向風速鉛直分布の一例(1980年12月16日 16:30~17:30) 図中の垂直な縦軸は地上から2000mまでの高度を表し、矢印は図中の上側を北向きに見た風向を表す。また、矢印の長さは風速に比例したものである。

が一致していることなどから地形的な影響があるのではないと思われる。

春季第2日は一般風が弱くなったために、地表近くでは山谷風の発生が見られた。

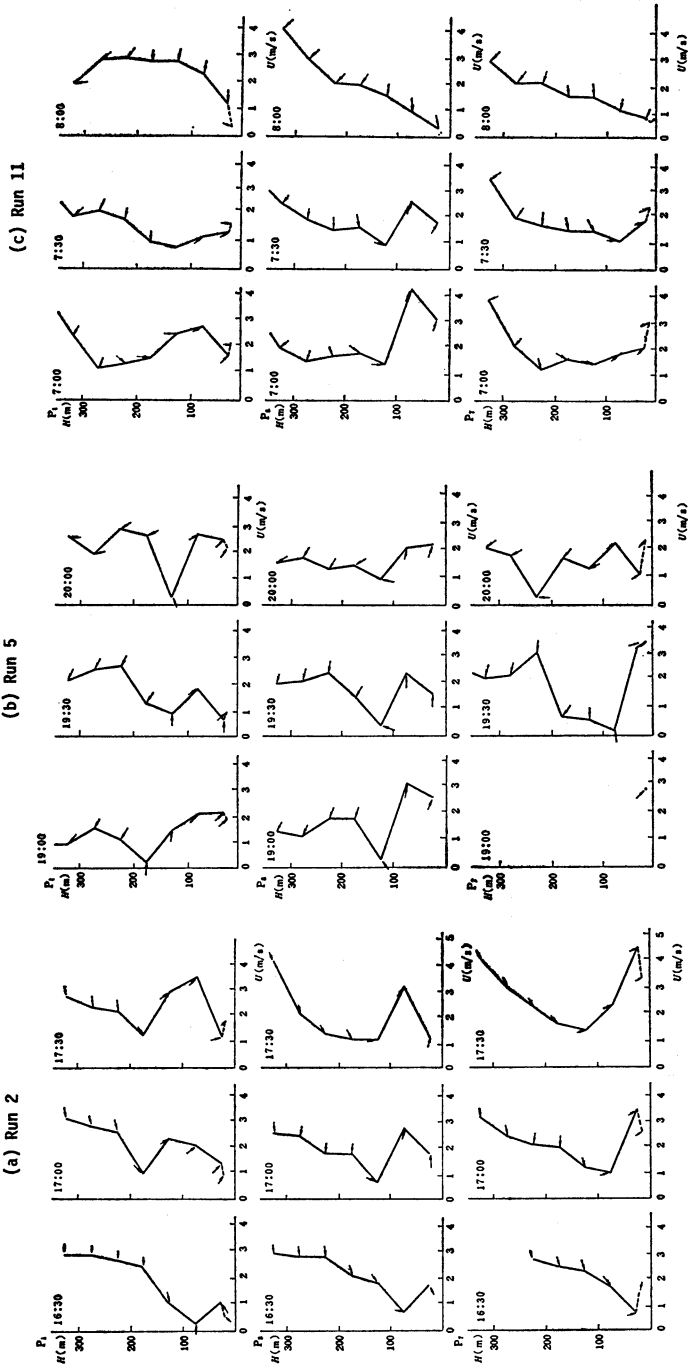
### 5.3. 山風 (drainage flow) の鉛直分布

山風の発生時の状態が握えられた Run 2 について、谷の中の  $P_1$ 、 $P_6$  及び谷の入口にある  $P_7$  の3地点について風速の鉛直分布を第4図(a)に示す。この図で  $P_1$  と  $P_7$  には地上風向・風速観測点 B、F の10分間平均値を参考のため記入してある。この図を見ると山風の発生時刻にはほぼ3地点ともあまり時間差はないように思われる。山風の厚さは谷の奥にある  $P_1$  では発生1時間後で150m程度であるが、谷の入口にある  $P_7$  では100m程度である。また山風の風速は入口の  $P_7$  で最も強くなっている。このときのA地点での温度の変化を第5図に示す。この結果を見ると、山風の発生と逆転層の発生は、ほぼ同時刻であることがわかる。

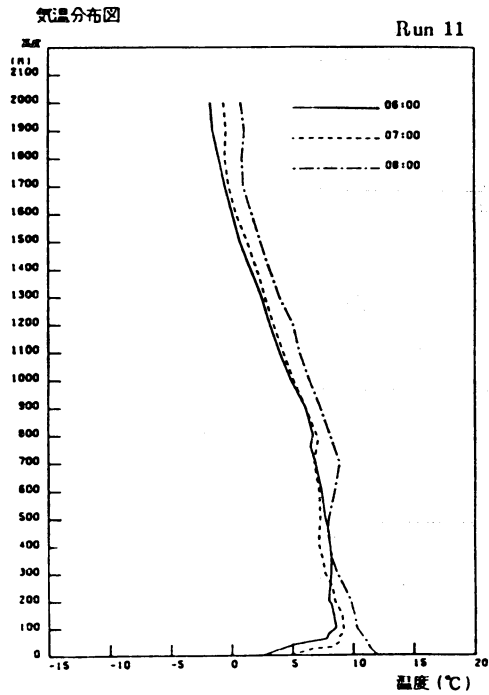
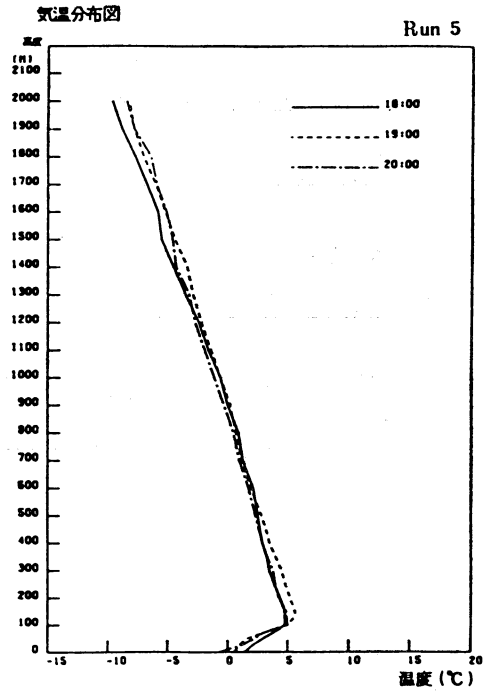
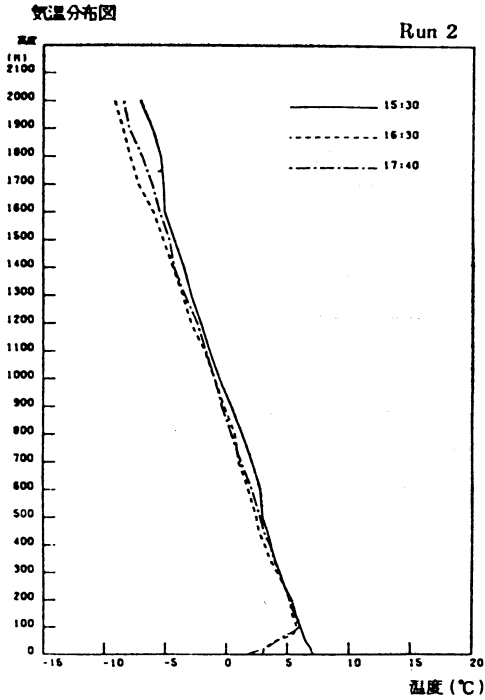
山風の発生から約4時間を経た Run 5 について風の分布を第4図(b)に示す。この図を見ても谷の中 ( $P_1$ ) で最も山風の層が厚く、谷の入り口 ( $P_7$ ) では薄いが、風速はむしろ入口付近 ( $P_7$ ) の方が強い。

Run 7 においても下層では山風が生じているが、山風の上の一般風の場合が西風であるため、山風との境界が明瞭ではない。

山風から谷風へ変化する直前の様子を第4図(c)に示す。山風の消滅1時間前の7時のデータを見ると、山風の厚さは150~200m程度である。また山風が安定して吹いていると思われる  $P_6$  地点での早朝5時半の観測データにおいても山風の厚さは約150m程度である。また、山風の消滅は8時頃と思われるが、微風向風速計の7:50~8:00のデータを見ると  $P_1$  (B地点) ではNNEであるが、 $P_7$  (F地点) ではSEであることから、山風から谷風への変換は  $P_7$  の方がわずかに早いように思われる。しかし、 $P_1$ 、 $P_6$ 、 $P_7$  ( $P_1$  と  $P_7$  の間隔は約6



第4図 P<sub>1</sub>, P<sub>7</sub>, P<sub>8</sub> 地点での風向風速の鉛直分布 (矢印は風向を表す).



第5図 気温鉛直分布の時間変化.

km) における谷風の発生はほぼ同時刻で、時間の差は10分程度であろうと思われる。

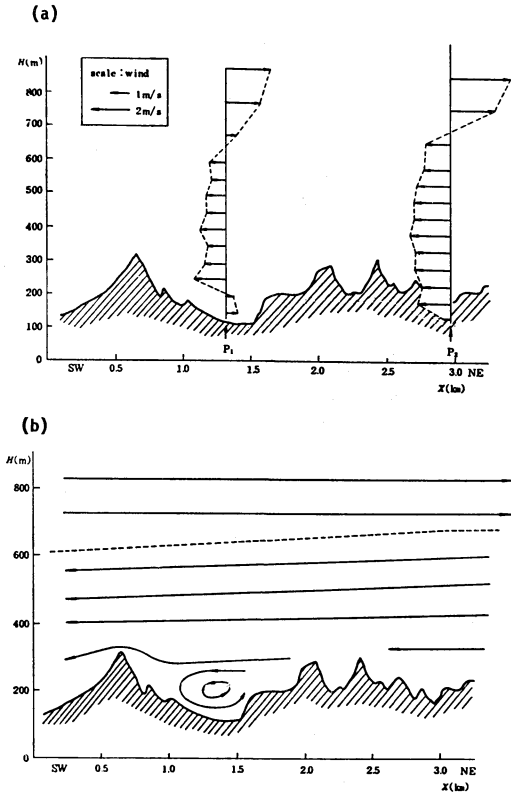
5.4. 谷と直角な風のとぎにおける循環風

永野川の谷とはほぼ直角な風が吹いた Run 4 について、30分間隔3回のパイロットバルーン観測値をベクトル平均して求めた風向、風速の鉛直分布を第6図に示す。ここで、地表から約500mまでの層は北東～北北東、2~3 m/s 程度の風が吹いているが、この上では数 m/s の西寄りの風となっている。谷の中にある P<sub>1</sub> 地点では南西の風向となっており、谷の中での循環流が生じているものと思われる。

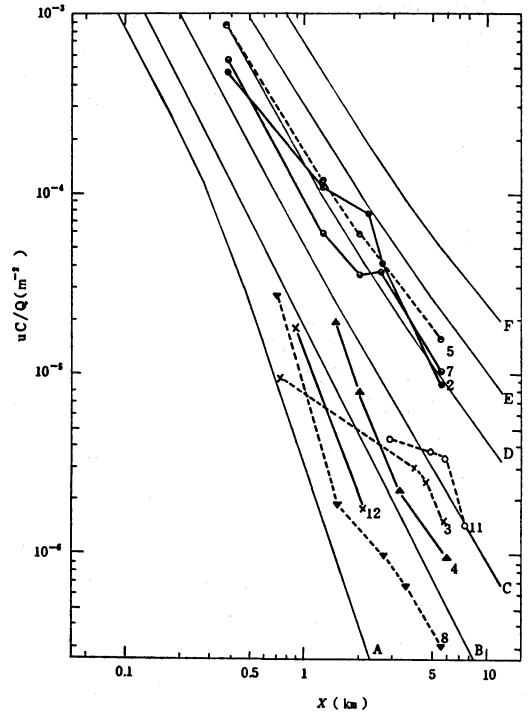
6. エアトレーサー拡散実験

十分な測定地点で濃度測定値が得られ、プルーム主軸が推定できる Run 2~5, 7, 8, 11 及び 12 について、プルーム主軸位置及び地表濃度分布を推定し、これに基づいて拡散幅を求めた。この拡散実験では、左右対称等間隔のサンプリング地点の配置ではないので、プルーム主軸と直角方向に数地点のサンプリング点が並ぶような位





第6図 谷の方向と直角な風の場合における循環風の観測結果 (a) P<sub>1</sub> 及び P<sub>2</sub> 地点での風向風速鉛直分布の概略；ベクトルの長さは風速に比例したものであり，風向は概略で，SW 及び NE である。(b) P<sub>1</sub> 地点を通る永野川の谷と直角方向の鉛直断面内の風の分布 (1980年12月17日 14:30~15:30)。



第7図 風下主軸上のトレーサー濃度分布 (図中の数字は Run 番号)。

っている。谷を吹き上がる風となった Run 3, 12 及び谷と直角に風が吹いた Run 4, 8 は風下主軸上で同程度の濃度となっている。

トレーサー濃度の分布が正規分布に従うと仮定すれば，プルーム主軸より  $\pm 2.15 \sigma_y$  離れた地点での濃度は主軸上濃度の 1/10 となる。この性質に基づいて，Start (1974) と同様にトレーサー等濃度線図より，主軸上濃度の 1/10 の濃度となる 2 地点間の距離に 1/4.3 を乗ずることによって拡散幅  $\sigma_y$  を求めた。この結果を Pasquill-Gifford 線図と比較した結果を第 8 図に示す。また，Pasquill-Gifford 線図から求まる  $\sigma_y$  と拡散実験から求めた  $\sigma_y$  の比率を計算した。この結果を見ると，“山風”中の実験 (Run 2, 5, 7) では Pasquill-Gifford 線図の 3~5 倍程度の  $\sigma_y$  となっており，その他の風系の場合でも 0.76~3.6 倍 (1~2 倍程度が多い) の大きな値となっている。

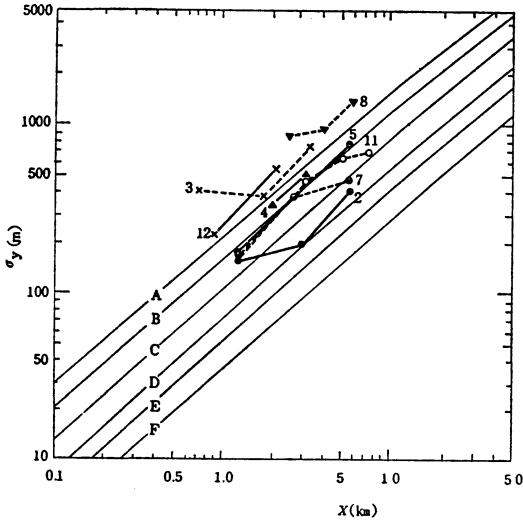
地上源に対する風下主軸上での地表濃度は正規型プルーム拡散式により，(1) 式で示される。

$$C = \frac{Q}{\pi \sigma_y \sigma_z u} \quad (1)$$

置で横風方向拡散幅  $\sigma_y$  を推定した。

風下主軸上のトレーサー濃度分布を第 7 図に示す。ここで A~F までの曲線は  $\sigma_y, \sigma_z$  とともに Pasquill-Gifford 線図に従う場合の，地上源についての濃度計算値である。トレーサーの噴霧高度は 5 m であるが，数 km の風下距離においては地上源と同一であると考えてもよい。この図より，谷を吹き下がる“山風”の中での実験 (Run 2, 5, 7) では Pasquill 大気安定度 D 階級にほぼ等しい濃度となっている。

Run 11 では山風が吹いているが，トレーサー捕集時間 (7~8 時) の日射量は 24.7 cal/cm<sup>2</sup>/h，Pasquill 大気安定度は B 階級であり，トレーサー捕集終了直前に風系が変化している。このため，Run 2, 5, 7 に比較して，Run 11 は“山風”の中の実験であるが，濃度が低くな



第8図 Pasquill-Gifford 線図 ( $\sigma_y$ ) と拡散実験結果の比較 (図中の数字は Run 番号).

ここで、鉛直拡散幅  $\sigma_z$  のみが未知数であるとすれば、式(2)によって  $\sigma_z$  が計算できる。

$$\sigma_z = \frac{1}{\pi \sigma_y} \cdot \frac{Q}{uc} \quad (2)$$

この式(2)で計算した拡散幅  $\sigma_z$  を Pasquill-Gifford 線図と比較した結果を第9図に示す。この結果より、山風の時における Run 2, 5, 7 はこの線図の E~F 階級に相当し、その他の Run については B~C 階級に相当する。

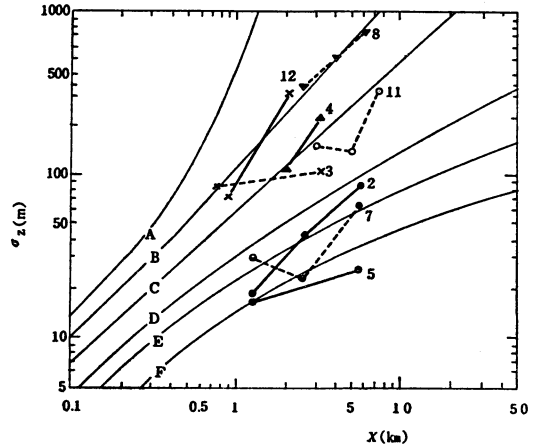
この結果より、Pasquill 安定度分類表に従って求めた大気安定度に対応して Pasquill-Gifford 線図から求めた拡散幅  $\sigma_z$  の値はほぼ今回の拡散実験結果から求めた  $\sigma_z$  に近い値であると考えられる。

7. まとめ

本調査は冬季及び春季の各3日間、栃木県栃木市及びその周辺地区において実施した。冬季の3日間は弱い冬型の気圧配置でおだやかな好天が続いた。また春季は途中で雨天の日があったが、天気の変化が早く、第1日目(4月14日)には比較的強い風が吹いた。

本調査における観測結果から得られた特徴的な事項を列記すれば、以下のとおりである。

(1) 冬期調査期間中は季節風が弱く、平坦地と山腹上の気温差によって生ずる山谷風が顕著に見られた。谷風(谷を上る風)は日出後3~4時間を経てから発生し、



第9図 Pasquill-Gifford 線図 ( $\sigma_z$ ) と拡散実験結果の比較 (図中の数字は Run 番号).

Run 3 の場合は 400 m 程度の厚さがある。山風(谷を下る風)は日没の前後に発生し、日没数時間後における厚さは 100 m 程度と非常に薄い。

(2) 谷風は山麓部においても谷の中と同様の風向、風速が観測されている。しかし、山風は谷の中と谷の延長線上の山麓部でのみ強く吹き、山の陰では風向変化は大きく、風速も弱い。

(3) 谷風の発生は、谷の奥よりも入口近くの方が早く、F地点(永野川の谷の入口)とB地点(F地点より約6 km 上流)では10分から1時間程度の差がある。山風の発生時刻については、F地点とB地点であまり大きな差はない。

(4) 冬季調査期間中は風が弱く、晴天であったため、日没時頃より毎日顕著な接地逆転層が発生しており、日没1時間後における逆転層高度は約100 m、逆転強度は約0.04°C/mである。

(5) 春季調査期間中で最も風が強かった Run 8, 9 においては、1000 m 以下の気層は断熱減率(約-0.01°C/m)に近い中立層となっている。

(6) 谷に沿って吹き下る山風中でのエアトレーサー拡散実験結果を見ると、地表近くの薄い層内の風系によって、トレーサーガスが流されていることがわかる。

(7) エアトレーサー拡散実験より求められた拡散幅  $\sigma_y$  は Pasquill-Gifford 線図よりも大きく、複雑な地形による影響と思われる。

本調査により、山間地域における風系などの気象条件及び大気拡散の特徴を把握する上で貴重なデータが得られたと考えられる。

文 献

- Archuleta, J., S. Barr, W.E. Clements, T. Gedayloo and S.K. Wilson, 1978: Some atmospheric tracer experiments in complex terrain at LASL, experimental design and data, Los Alamos scientific laboratory LA-7198-MS, 1, 38.
- Clements, W.E., S. Barr and M.M. Fowler, 1980: Effective transport velocity and plume elongation in nocturnal valley wind fields, 2nd Joint Conf. on Appl. of Air Poll. Met., 474-479.
- Dickerson, M.H. and P.H. Gudikson, 1980: The department of energy's atmospheric studies in complex terrain (ASCOT) program, 2nd Joint Conf. on Appl. of Air Poll. Met., 469-473.
- Gedayloo, T., S. Barr, W.E. Clements and S.K. Wilson, 1979: Summertime nocturnal drainage flow in the San Mateo and Ambrosia Lake air sheds of the Grants Basin, Los Alamos scientific laboratory LA-7628-MS.
- Nappo, C.J. and H.F. Snodgrass, 1981: Observations of nighttime winds using pilot balloons in Andersen Creek valley, Geysers, California, J. Appl. Met., 20, 721-727.
- Start, G.E., N.R. Ricks and C.R. Dickson, 1974: Effluent dilutions over mountainous terrain, NOAA Tech. Memo. ERL ARL-51.
- 岡本眞一, 梅田茂樹, 大石大和, 塩沢清茂, 1982: 大気汚染濃度予測に関する研究 (XXXIII) 起伏のある地形上の大気汚染シミュレーションモデルの開発と検証, 第23回大気汚染学会講演要旨集, 387.