

JAERI - M
86-187

緊急時線量予測システム開発のための
野外実験及び風洞実験

1987年1月

環境放射能研究委員会
気象・風洞実験専門部会

JAERI-Mレポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。
入手の問合わせは、日本原子力研究所技術情報部情報資料課（〒319-11茨城県那珂郡東海村）あて、お申しこしてください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-11茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

JAERI-M reports are issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Information Division
Department of Technical Information, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-
mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-11, Japan.

©Japan Atomic Energy Research Institute, 1987

編集兼発行 日本原子力研究所
印 刷 いばらき印刷(株)

緊急時線量予測システム開発のための野外実験及び風洞実験

日本原子力研究所東海研究所
環境放射能研究委員会
気象・風洞実験専門部会

(1986年12月12日受理)

日本原子力研究所では、外部諸機関の援助を得て、昭和55年度より6カ年に渡り、緊急時関連研究を実施した。本編は、このうち「気象・風洞実験専門部会」のもとで行われた研究の成果をまとめた最終報告書である。この専門部会の活動目的は、「モニタリング・予測専門部会」のもとで進められた緊急時環境線量情報予測システムの開発の基礎となるデータ、及び同システムの検証のためのデータを取得することである。

野外実験では、海岸付近での拡散実験・特別気象観測を4カ年、筑波山周辺の起伏地形上での拡散実験・特別気象観測を2カ年に渡り実施した。海岸付近の実験では、海風時に形成される内部境界層の構造と、この層内外での拡散に関する多くの実験データが取得された。筑波山周辺の実験では、大気温度成層状態の相違により、移流・拡散の様相が異なることがわかった。またレーダー電波反射物体を用いた拡散実験を試み、この方式が、複雑地形上での拡散実験手法として有効であることが示された。

風洞実験では、平坦地形上での実験、東海村周辺の地形模型を用いた実験、島根周辺の地形模型を用いた実験、筑波山周辺の地形模型を用いた実験、不安定な温度成層を与えた実験等を実施した。それぞれの実験で気流、乱れ、濃度分布の詳細な測定が行われ、風洞実験による複雑地形上のシミュレーションに関する豊富なデータが得られた。

また福井県を対象に、気象観測ネットワークの現状調査を行った。

FIELD EXPERIMENT AND WIND TUNNEL EXPERIMENT
OF ATMOSPHERIC DISPERSION
SUPPORTING THE DEVELOPMENT OF EMERGENCY RESPONSE SYSTEM

Steering Committee for the Environmental Radiation Safety
Subcommittee for the Field Experiment and
Wind Tunnel Experiment of Atmospheric Dispersion

Tokai Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received December 12, 1986)

This report contains papers on emergency research carried out under "Subcommittee for Field Experiment and Wind Tunnel Experiment of Atmospheric Dispersion" organized by JAERI from 1981 through 1985. The purpose of this subcommittee is to obtain the experimental data for atmospheric dispersion and to aid the development of a computer code system to predict environmental consequences due to accidental release, which has been carried out under "Subcommittee for the Monitoring and Prediction of Radionuclides Accidentally Released into Atmosphere".

As for the field experiments, tracer experiments and intensive wind observations were carried out in the coastal terrain during the first four years. In the following two years, the experiments were carried out in the complex terrain, around Mt. Tsukuba.

The wind tunnel experiments contain the experiments on a flat plate and on topographic models of Tokai-mura, Shimane or Mt. Tsukuba. The experiment within the unstable stratification was also performed.

The data obtained by these experiments were used for the development of the computer code system.

Keywords: Field Experiment, Wind Tunnel, Atmospheric Diffusion,
Complex Terrain, Coastal Site, SPEEDI, Internal Boundary Layer,
Emergency Response System

目 次

1. 序	1
2. 野外大気拡散実験	2
角田道生, 林 隆, 安達隆史	
3. レーダ電波反射物体による拡散実験	46
吉川友章, 栗田 進, 里村雄彦	
4. 風洞実験	56
加藤真規子	
5. 気象観測ネットの調査	106
茅野政道	
6. おわりに	111
参考文献	111

CONTENTS

1. Preface	1
2. Field Experiments	2
M. Kakuta, T. Hayashi and T. Adachi	
3. Atmospheric Dispersion Experiments by Radiowave Reflective Materials	46
T. Yoshikawa, S. Kurita and T. Satomura	
4. Wind Tunnel Experiments	56
M. Katoh	
5. Survey of the Meteorological Observatory around Nuclear Power Plants	106
M. Chino	
6. Summary	111
Reference	111

表 リ ス ト

- 第 2.1 表 大気拡散実験一覧
- 第 2.2 表 トレーサガスの放出条件 (第 1 年度, 線状源)
- 第 2.3 表 トレーサガスの放出条件 (第 2 年度, 線状源)
- 第 2.4 表 トレーサガスの放出条件と捕集時間 (第 3 年度, 点状源)
- 第 2.5 表 トレーサガスの放出条件と捕集時間 (第 4 年度, 点状源)
- 第 2.6 表 地上と上空の安定度の組み合わせで分類したときの観測回数
- 第 2.7 表 有意な地表濃度分布の得られたケースの分類
(1984, 1985 年全 28 ケース中)
- 第 2.8 表 濃度の鉛直分布の取得状況
- 第 4.1 表 平坦地形, 風向 E に対する各風下距離における平均標高
- 第 4.2 表 孤立峰がある地形上での風速分布を表わすパラメータの値
- 第 4.3 表 前方散乱方式と後方散乱方式のデータレートの割合
- 第 4.4 表 タングステン線抵抗温度計の時定数と減衰比が 0.7 および 0.9 になる周波数
($5 \mu\text{m} \phi$, 2 mm の場合)
- 第 5.1 表 敦賀・高浜地区気象観測点調査一覧

図 リ ス ト

- 第 2.1 図 線状源を用いた拡散実験の模式図
- 第 2.2 図 線状源実験の観測点配置図
- 第 2.3 図 点源実験の模式図
- 第 2.4 図 点源方式拡散実験の観測点配置図 (全地域)
- 第 2.5 図 点源方式拡散実験の観測点配置図 (6 km 以内の詳細配置図)
- 第 2.6 図 点源方式拡散実験の観測点配置図 (1 km 以内の詳細配置図)
- 第 2.7 図 測風気球による水平風向風速分布の鉛直断面図 (15 分毎 3 個の観測値の平均)
- 第 2.8 図 測風気球による水平風向風速分布の鉛直断面図 (15 分毎 3 個の観測値の平均)
- 第 2.9 図 各地点の温位 ($\theta - 273$) の鉛直分布。図中の矢印は内部境界層の推定高度を示す。
- 第 2.10 図 各地点の温位 ($\theta - 273$) の鉛直分布。図中の矢印は内部境界層の推定高度を示す。
- 第 2.11 図 気流の到達時間と内部境界層高度の関係 (4 年間のデータによる)
- 第 2.12 図 フミゲーションモデルの模式図 (Lyons and Cole : 1973 より)
- 第 2.13 図 係留気球 A~E で測定された SF₆ 濃度の鉛直分布例
- 第 2.14 図 SF₆ 濃度の鉛直断面図。A~E は係留気球の位置、実線は濃度の等値線、破線は温位勾配から推定した内部境界層。日射量と地上風速から求めた地上付近の大気安定度階級は B、海岸上空 150 m 高付近の温位勾配から求めた安定度階級は F (1981, RUN 8)。
- 第 2.15 図 SF₆ 濃度の鉛直断面図。A~E は係留気球の位置、実線は濃度の等値線、破線は温位勾配から推定した内部境界層。日射量と地上風速から求めた地上付近の大気安定度階級は B、海岸上空 150 m 高付近の温位勾配から求めた安定度階級は D (1981, RUN 10)。
- 第 2.16 図 基準化した風下主軸上地上濃度分布の比較 (1983, RUN 6)
実線はガウスプルームモデル、破線はフミゲーションモデル、黒丸は実測値。
放出高さは 120 m。
- 第 2.17 図 基準化した風下主軸上地上濃度分布の比較 (1983, RUN 9)
実線はガウスプルームモデル、破線はフミゲーションモデル、黒丸は実測値。
放出高さは 60 m。
- 第 2.18 図 点源放出拡散実験の SF₆ の地上濃度分布例
濃度の単位は ppt, K- は鉛直分布測定地点。
- 第 2.19 図 点源放出拡散実験の SF₆ の地上濃度分布例
濃度の単位は ppt, K- は鉛直分布測定地点。
- 第 2.20 図 パスキル・ギフォードの水平拡散幅 (線図) と実測値の比較
横軸は風下距離, 縦軸は水平拡散幅, A~E は大気安定度。黒丸は実測値から求めた水平拡散幅で, カッコを付したのは信頼度の低い値である。太い破線は実験結果にフィットさせて引いた曲線である。

- 第2.21図 筑波山周辺の地形概要
黒丸は風向風速計の設置位置
- 第2.22図 筑波山地形の特徴
- 第2.23図 放出地点と捕集点の設定例（東風モード）
◎は地上放出地点，☆はヘリコプタ放出地点，●は地上捕集点，★は鉛直分布測定地点
- 第2.24図 放出時間とサンプリング時間
- 第2.25図 上層気象観測点の配置例（1984年）
- 第2.26図 地上濃度分布の測定結果（1984年，RUN 8）
- 第2.27図 地上濃度分布の測定結果（1985年，RUN 1）
- 第2.28図 地上濃度分布の測定結果（1985年，RUN 6）
- 第2.29図 地上濃度分布の測定結果（1985年，RUN 7）
- 第2.30図 地上濃度分布の測定結果（1984年，RUN 1）
- 第2.31図 地上濃度分布の測定結果（1984年，RUN 6）
- 第2.32図 地上濃度分布の測定結果（1985年，RUN 6，高所放出）
- 第2.33図 放出物の滞留が生じた時の濃度分布，気温分布，風速分布
- 第2.34図 山岳下降流が生じた時の濃度分布，気温分布，風速分布
- 第2.35図 150～300 m層の鉛直風速変動 σ_w の経時変化（'84.10.15, 晴, N→W）
- 第2.36図 150～300 m層の鉛直風速変動 σ_w の経時変化（'84.10.17, 曇→晴, NE→NW）
- 第2.37図 150～300 m層の鉛直風速変動 σ_w の経時変化（'84.10.18, 快晴, SE）
- 第2.38図 150～300 m層の鉛直風速変動 σ_w の経時変化（'84.10.19, 雨, E強風）
- 第2.39図 連続して放球した3回の測風気球による上層風観測結果
- 第3.1図 チャフの落下速度の測定結果
- 第3.2図 レーダ電波反射物体をトレーサとした拡散実験の概念
- 第3.3図 レーダ・サイトとチャフの投下状況
Run 4は2線上に40パックずつのチャフを投下したため，2本の2重線で示す。矢印は投下時の主風向，黒丸は1パック150gの投下点。
- 第3.4図 一般流が北風で安定条件の時のチャフ映像の追跡例（Run 3，600 m高度）
- 第3.5図 投下20分後のチャフの分布（等値線は相対反射強度を示す。）
- 第3.6図 2カ所のレーダのドップラー解析により求めたチャフの移流ベクトル
（Run 4，投下後30分，800 m）
- 第3.7図 図3.5と同じ時間の気流場と同じ放出点のガストレーサーを仮定した差分法拡散モデルによる計算結果
- 第3.8図 南風，中立条件の時，筑波山地域に散いた7点のチャフの約10分間隔のレーダ映像位置と映像面積の時間変化率から求めた水平拡散係数の相対値
- 第3.9図 図3.8の左から4番目のチャフの南北方向鉛直断面映像と鉛直拡散係数の相対値
- 第4.1図 拡散実験の放出点源(a)と濃度測定用の吸引プローブ(b)
- 第4.2図 比較的平坦な地形の地形図

- 第 4.3 図 風向 E, NE, SE に対する軸に沿った地形断面図
- 第 4.4 図 平坦地形実験の概略図
- 第 4.5 図(a) 平板上の平均風速分布
- 第 4.5 図(b) 平板上の σ_u の分布
- 第 4.6 図(a) 風向 E に対する XY 断面内平均風速分布 ($Z = 30 \text{ m}$)
- 第 4.6 図(b) 風向 E に対する XY 断面内平均風速分布 ($Z = 50 \text{ m}$)
- 第 4.6 図(c) 風向 E に対する XY 断面内平均風速分布 ($Z = 100 \text{ m}$)
- 第 4.6 図(d) 風向 E に対する XY 断面内平均風速分布 ($Z = 200 \text{ m}$)
- 第 4.7 図(a) 風向 E に対する XY 断面内乱流強度分布 ($Z = 30 \text{ m}$)
- 第 4.7 図(b) 風向 E に対する XY 断面内乱流強度分布 ($Z = 50 \text{ m}$)
- 第 4.7 図(c) 風向 E に対する XY 断面内乱流強度分布 ($Z = 100 \text{ m}$)
- 第 4.7 図(d) 風向 E に対する XY 断面内乱流強度分布 ($Z = 200 \text{ m}$)
- 第 4.8 図(a) 平坦地形の主軸上 (風向 E) の平均風速分布
- 第 4.8 図(b) 平坦地形の主軸上の σ_u / U の分布
- 第 4.9 図 平坦地形上と平板上における地上等濃度線図 ($H_s = 10 \text{ m}$)
- 第 4.10 図 平坦地形上と平板上における地上等濃度線図 ($H_s = 150 \text{ m}$)
- 第 4.11 図 平坦地形上と平板上における煙軸地上濃度分布
- 第 4.12 図 平坦地形上と平板上における σ_y の高さ方向の分布 ($H_s = 10 \text{ m}, 150 \text{ m}$)
- 第 4.13 図 平坦地形上における放出源高さでの σ_y の X 方向の分布
- 第 4.14 図 平坦地形上と平板上における鉛直濃度分布例 ($H_s = 100 \text{ m}$)
- 第 4.15 図 平坦地形上における σ_z の X 方向の分布
破線は測定値にフィットさせたもの。
- 第 4.16 図 複雑地形の概略図
- 第 4.17 図 複雑地形上の実験概略図
- 第 4.18 図(a) 複雑地形, 主軸上の U の鉛直分布
- 第 4.18 図(b) 複雑地形, 主軸上の σ_u の鉛直分布
- 第 4.19 図 複雑地形, 主軸上における平均風速のプロファイル ($Y = 0$)
- 第 4.20 図 複雑地形, 主軸上における $\sigma_u, \sigma_v, \sigma_w$ のプロファイル ($Y = 0$)
- 第 4.21 図 スペクトルスケール λ_u と λ_w のプロファイル
- 第 4.22 図 複雑地形, 各風下距離 YZ 断面における等濃度線図 ($H_s = 100 \text{ m}$)
- 第 4.23 図 複雑地形, $Z = 2 \text{ m}$, 標高 $100 \text{ m}, 200 \text{ m}$ の XY 断面における等濃度線図
($H_s = 100 \text{ m}$)

- 第4.24図 複雑地形, 標高 $Z = 160$ m での横方向濃度分布 ($H_S = 100$ m)
- 第4.25図 複雑地形, 横方向拡散幅 σ_Y の X 方向の分布 ($H_S = 100$ m)
- 第4.26図 複雑地形, 煙軸最大濃度 C_m のプロファイル ($H_S = 100$ m)
- 第4.27図 複雑地形, 鉛直方向の濃度分布 ($H_S = 100$ m)
- 第4.28図 複雑地形, 鉛直方向拡散幅 σ_Z の X 方向の分布 ($H_S = 100$ m)
- 第4.29図 温度成層内における実験の概略図
- 第4.30図 温度 T と変動温度の標準偏差 σ_T の鉛直分布
- 第4.31図 平坦地形上, 平均風速と乱流強度の分布 ($x = 0$ m)。実線は中立状態の実験値から得た結果。
- 第4.32図 不安定成層と中立成層における, σ_Y の X 方向の変化 (Z_G は地表からの高さ)
- 第4.33図 不安定成層と中立成層における, 鉛直濃度分布
- 第4.34図 孤立峰がある地形の概略図
- 第4.35図 孤立峰がある地形上の実験の概略図
- 第4.36図 孤立峰地形上, 主軸上各風下距離の風速分布 (風向 N)
- 第4.37図(a) 孤立峰地形上, 主軸に沿った地形断面図上における風速分布のプロファイル
- 第4.37図(b) 孤立峰地形上, 主軸に沿った地形断面図上における σ_u のプロファイル
- 第4.38図 標高 200, 300, 500 m における孤立峰のまわりの流れ
- 第4.39図(a) 孤立峰地形上, 各風下距離の鉛直断面濃度分布 ($H_S = 0$ m)
- 第4.39図(b) 孤立峰地形上, 各風下距離の鉛直断面濃度分布 ($H_S = 200$ m)
- 第4.40図 S 2 地点における風速分布(a)と M 地点における風速分布と風向(b)
- 第4.41図 孤立峰地形上, $Y = 1.9$ km における風向 E~SE に対する地上濃度分布
- 第4.42図 風洞実験による濃度分布の重ね合わせから求めた地上濃度分布 (実線) と観測により得られた地上濃度分布 (黒丸印)
- 第4.43図 LDV システムのブロック・ダイアグラム
- 第4.44図 LDV と超音波風速計で得られた風速の比較
- 第4.45図 抵抗温度計により温度補償をしたときの熱線風速計の出力特性
- 第5.1図 敦賀周辺気象観測点
- 第5.2図 大飯・高浜周辺気象観測点

1. 序

原子力安全委員会環境放射能安全研究専門部会がまとめた「環境放射能研究年次計画」の中に示されている「放射性物質異常放出時の安全確保」に関する研究の一環として、昭和55年度に開始された緊急時関連の研究開発は、昭和60年度をもって予定どおり終了した。原研では、一連の研究開発の相互の関係を図るため、昭和55年度より、「環境放射能研究委員会」を設置し、その下に「緊急時モニタリング・予測専門部会」を設けた。さらに昭和56年度以降「気象・風洞実験専門部会」が設置された。

本専門部会の目的は、「緊急時モニタリング・予測専門部会」のもとで開発されている大気拡散計算モデルの作成の基礎となる野外実験データ、風洞実験データを取得すること、計算モデルに入力すべき気象データの検討をすることである。そのために、以下の3項目について研究を進めてきた。

- (1) 大気拡散実験,
- (2) 風洞実験,
- (3) 気象観測ネット調査,

大気拡散実験は、昭和55年度から6ヶ年にわたり実施された。昭和55年度、56年度は、東海村周辺地域で、鉛直拡散に重点をおいた野外実験を行った。昭和57年度、58年度には、同じく東海村周辺地域で総合的な拡散実験を実施した。昭和59年度、60年度には、筑波山周辺地域で複雑地形上の気流・拡散に重点をおいた拡散実験を実施した。これらの野外実験は、いずれも日本原子力研究所より（財）日本気象協会へ委託された。また、昭和59、60年度には、気象研究所応用気象研究部により、レーダ電波反射物体を用いた拡散実験が合わせて実施された。

風洞実験は、気象研究所物理気象研究部により同所の大型気象風洞を用いて実施された。東海村周辺、島根原子力発電所周辺、筑波山周辺の地形模型を用いた気流測定、拡散実験が実施された。また、温度成層を与えた風洞実験も行われた。

気象観測ネット調査は、昭和59年度に福井県内の原子力発電所周辺地域に関し現状調査を行った。

この報告書は、以上に述べた「気象・風洞実験専門部会」の活動成果をまとめたものである。第2章では大気拡散実験について、第3章ではレーダ電波反射物体を用いた拡散実験について報告する。さらに、第4章では風洞実験の成果について、第5章では気象観測ネット調査について述べる。

2. 野外大気拡散実験

角田道生^{*}、林 隆^{*}、安達隆史^{**}

2.1 はじめに

原子力施設の万一の事故に備え、環境における被曝評価を迅速かつ正確に行うシステムを整備しておくことは、各種対策の出発点として不可欠である。この意味で、日本原子力研究所では、1980年から、「緊急時環境放射能予測システムの研究」に着手した。この中で風速場および濃度分布の計算モデル開発が進められた。これと並行してモデル検証の為の野外拡散実験が計画された。

この拡散実験では、原子力施設排気筒放出物の移行、拡散を、地上最大濃度および最大線量率出現予想地点を含む風下距離十数キロメートルの範囲で把握するためのデータ入手を目的とした。トレーサーの濃度分布測定とともに、その時の気象条件、とくに拡散に影響する気象パラメータの観測が必要であり、実験手段の配置及び所要人員がかなりの規模となるので、年一回集中的な野外実験を実施し、各年の実験重点を順次移して6カ年でしめくくる方針をとった。1980年から1985年の間に表2.1に示す6回の実験が行われた。

1980～1983年の4回の実験は、我が国の原子力発電所がすべて海岸線に近い地点に所在することを考慮し、沿岸地域の拡散特性、とくに海風時に形成の予想される内部境界層の拡散への影響把握に力点を置いた。実験サイトには、典型的な沿岸として、海岸線が直線に近くまた内陸かなりの距離まで土地起伏の少ない茨城県東海村を選んだ。1984～1985年の2回の実験は、複雑地形へのモデル適用を確かめるため、拡散に及ぼす起伏の影響が典型的に表われるサイトを考え、各方向に長い平坦地フェッチを持つ茨城県筑波山付近を対象地域とした。

計画に当たっての各年度の実験の特徴、力点は次のとおりである。

第1、2年度：海風時の内部境界層の鉛直拡散に及ぼす効果、とくに海風フミゲーションと呼ばれる現象が実際にどう表われるかをみるため、放出物の内陸移行にともなう濃度鉛直分布の変化のデータ入手を図った。このため、ヘリコプターを海岸線上を往復させ、高所線状源を模擬し、内陸4地点で係留気球を用いた鉛直サンプリングをおこなうこととした。

第3年度：発達した内部境界層のもとで、高所点源による地上の濃度水平分布データの入手を図った。放出は海岸固定点で係留気球を用いて行い、放出点を中心とする同心円弧上に広くサンプラーを配置して、地上等濃度線をとらえようとした。

第4年度：前年度の実験に加え、プルーム内の鉛直濃度分布を測定し、三次元的な拡散データの入手を図った。鉛直サンプリングには、風向により移動できるよう車載型の係留気球を2セット

* 環境安全研究部環境第1研究室

** 日本気象協会中央本部研究所

用い、また測定メッシュを細かくするために超軽量サンプラーを開発した。

第5年度：前年度で平坦地実験をしめくり、この年度から地形効果のデータ入手を図った。複雑な風速場をとらえるため、音波レーダや、ダブルセオドライト観測地点を多数配置した。風向によって選んだ風上山麓で地上放出またはヘリコプターを利用した高所放出を行い、山越え、迂回、谷への流れ込みなどの効果がとらえられるようサンプリング地点を配置した。

第6年度：前年度とほぼ同じであるが、ブルームが確実に山のほうに流れるよう、放出候補地点を増やし、二種のトレーサーを用いて風上側山麓の2地点からの同時放出を行った。高所と地上の同時放出実験も行った。

一連の実験で得られた主要な知見を、沿岸平坦地形実験、起伏地形実験の順に次節以降に示す。

2.2 沿岸平坦地形における拡散実験

2.2.1 実験の方法と条件の概略

(1) 線状源方式の拡散実験

4年間の内の始めの2年度（昭和55、56年度）は、海風時の風下複数地点における濃度の鉛直分布データを取得することに重点がおかれた。この種のデータは重要視されているにも関わらず、従来の実験方法では濃度鉛直分布データの取得効率が悪く、有効なデータがほとんど得られていなかった。

今回採用された方法は、風向によるデータ取得効率への影響を小さくするために、図2.1に示すように、ヘリコプターの90分間の直線反復飛行中にエアトレーサーが連続放出されてできる線状源の方式である。この線状源は海岸線上空に作られ、海岸線に平行で、長さが5~7km、地上高が150mとされた。さらに内陸4km以内の4地点（B、C、D、E）には、係留索にサンプラーが取り付けられた大型の係留気球が設置されて、海寄りの風の場合に地上から300mまでの8高度の濃度が測定された。また、海上、陸上の複数地点で気温の鉛直分布などの気象観測が実施された。この他、地上濃度の測定が図2.2の中に白丸で示した21カ所で実施された。この図には原研構内でのサンプラーの配置図も付してある。

表2.2、2.3には各ラン毎にエアトレーサーの放出結果をまとめてある。いずれの場合も近似的に定常な無限の長さの直線源とみなせることが期待されたが、より正確には移動点源として扱う必要もあろう。

(2) 点源方式の拡散実験

4年間の内の後半2年度（昭和57、58年度）は、海風時の濃度の水平分布データも取得することに重点が移された。このために、トレーサーの放出には点源方式を用い、図2.3に示すように2種類のエアトレーサーを、海岸に設置した70m³の係留気球の係留索上の、地上120mまたは60mから放出した。

地上濃度の測定は放出点を中心とした半径15kmの扇形の捕集点網の中の約100地点で実施された。昭和58年度の実験では、濃度の鉛直分布測定手法に改良を加え、実験時の風向に応じて適切な地点に移動できる車載型の中型（約15m³）係留気球と空中サンプラーが2セット使用された。

図 2.4, 2.5, 2.6 には点源方式の拡散実験時の観測点配置図を示してある。表 2.4, 2.5 には各ラン毎にエアトレーサの放出結果等がまとめられている。

2.2.2 主な解析結果

(1) 海風時の風向風速の鉛直分布

海岸から内陸 10 km までの範囲の 4 地点で、海風時に観測された風向風速の鉛直分布を図 2.7, 2.8 に示す。図 2.7 の例では、どの地点でも地上 700 m を境目として上層が西風、下層が東風（海風）で、風向がほぼ反対になっている。また図 2.8 に示した例では、地上 300 m を境目として、上層は北風、下層は東風（海風）になっている。

これらの観測例から、海風時には内陸 10 km までの風向風速は、ほぼ一様な鉛直分布をしているが、日時によって海風層の厚さには違いがあることがわかる。従って海風層の厚さが放出高さに比較して薄い場合には風向の鉛直シアーが物質の拡散に大きな影響を及ぼすことが考えられる。

(2) 海風時の内部境界層

一般に海風が陸地を吹き渡る場合に、地面に接する部分から熱せられて、内陸へ移行するに従って、海風の性質が損なわれた部分が厚くなる。これが熱的な内部境界層と言われている。

図 2.9, 2.10 には海岸から内陸 9.5 km までの間の 5 地点で観測された温位の鉛直分布の例を示す。海岸付近で観測される安定な温位勾配がほぼ保たれている下限高度を矢印で示してある。これらの矢印よりも下の気層を内部境界層とみなすことができる。しかし、温位勾配の違いがはっきりと現れない観測例もあった。

内部境界層の発達には地表から海風層へ供給される熱量が関係すると思われる。また供給される熱量は海風層が陸上を吹走する時間に依存する。そこで、4 年間の観測で得られた各観測点での内部境界層の高さ (H) を、海風がその観測点まで到達するのに要した時間 (T) について整理した結果を図 2.11 に示す。H, T も基準点での値 H_0 , T_0 で割って無次元化してある。図中に実線で示したのは従来の研究で得られている結果である。到達時間が短い場合を除けば、両者に大きな相違はなかった。

内部境界層が発達する場合には、水平、鉛直両方向に大気の安定度が変化すると考えられる。表 2.6 に、拡散実験での放出が行われた海岸付近について、日射量と風速から求めた地上付近の大気安定度と、気温勾配から求めた地上 150 m 付近（放出高さ）の大気安定度の出現回数を両者の組合わせで示してある。この表によれば、気温勾配から求めた放出源高度の安定度は、通常の方法で求めた地上付近の大気安定度よりも Pasquill の分類で数階級安定側であったことがわかる。

内部境界層が存在する時はしばしば地上に高濃度の汚染が生じる。この現象はフミゲーションと呼ばれ、その際の濃度計算モデルが Lyons 等⁽¹⁾により提案されている。このモデルでは、大気汚染物質が内部境界層に侵入すると高さ方向に即座に一様混合すると仮定される点に特徴がある。水平方向の拡散幅も内部境界層の影響を受けて大きくなるように作られている。モデルの概要を図 2.12 に示す。以下に、このフミゲーション・モデルを参考にした濃度データの解析結果を示す。

(3) 濃度鉛直分布

図 2.13 は内陸各地点での SF₆ 濃度の鉛直分布の測定例である。このケースでは、地上付近の大気安定度が不安定（大気安定度階級の B）であるのに対し、放出点高度（地上 150 m）では強い安定（安定度階級の F）である。海岸付近の B 地点から内陸部の E 地点に向う程、高さ方向の濃度分布が一様になることがわかる。特に E 地点では 150 m 以下の濃度勾配は非常に小さい。次に、同じデータを用いて鉛直断面内で、濃度の等値線を引いた結果を図 2.14 に示す。図中の破線は温位の鉛直分布から推定した内部境界層の上端である。内部境界層よりも上空で放出されたトレーサガスは内部境界層を横切ってやや下向きに流れたと考えられる。この例では地上の最大濃度は E 地点よりもさらに内陸側に現れた。これは安定層内で放出されたトレーサガスが、内部境界層に入るまでの間、あまり拡散せずに内陸に移行したためである。

この様な強い安定層がない場合には、放出直後から鉛直方向の拡散が進み、地上の最大濃度地点はもっと海よりに生じる。地上と上空との大気安定度の差が小さい場合の例を図 2.15 に示す。地上の安定度階級は不安定（安定度階級 B）、上空は中立（安定度階級 D）である。高さ方向の拡散が前の例よりも速やかにすすみ、地上の最大濃度は C 地点で生じている。

(4) 地上主軸濃度の風下距離による変化

図 2.16 に、放出高が 120 m の場合の風速 (U) と放出量 (Q) で基準化した地上主軸濃度 (C) の風下距離変化の実測例を示す。図中の黒丸は実測値、太実線は地上の大気安定度のみを用いる普通用いられているガウスプルームモデルによる計算値、破線は Lyons 等によるフミゲーションモデルによる計算値を示す。この例は、上層と下層との安定度の差が大きい場合の比較である。風下 1 km 付近で最大濃度が観測されている。内部境界層を考慮したフミゲーションモデルは実測とよく合うのに対し、普通のガウスプルームモデルでは、地上最大濃度出現地点が放出点近くに計算されている。

図 2.17 に、放出高 60 m で、地上と上空との安定度階級の差が小さい場合の例を示す。この場合は実測値、普通のガウスプルームモデル、フミゲーションモデルがほぼ一致する。

(5) 濃度の水平分布

図 2.18, 2.19 に、地上濃度分布の実測例を示してある。プルームの主軸は少し蛇行している様子がわかる。両図で、プルームからはずれた場所で局所的な高濃度が出現しているのは、原研構内タンDEM棟で絶縁材として使用している SF₆ がリークしているものである。

(6) 水平方向拡散幅

濃度分布が正規分布をする場合、同一風下距離で最大濃度地点と、濃度が最大値の 1/10 となる地点との間の距離を L とすると、 $\sigma_y = L/4.29$ の関係がある。この関係を利用して、水平拡散幅 σ_y を実験値から求めた。

地上の大気安定度が A、上空の大気安定度が E であった実験例 3 例のデータから求めた水平方向拡散幅 (σ_y) をパスキル-ギフォードの線図上に示したのが図 2.20 である。実測値に平均的に合わせて引いた線（太線）は、P-G 線図よりも大きな傾きを示している。これはプルームの広がり風下遠距離で大きいことを表しており、内部境界層が存在することの影響と考えられる。

2.3 起伏地形における拡散実験

2.3.1 実験サイト

地形の複雑さは対象とするサイトにより様々である。非常に複雑なサイトでは、様々な効果が複合するため、実験結果を解釈する際の任意性が大きくなり、有意な結論を導くことが困難となる。そこで起伏パターンが比較的単純な筑波山とその周辺の地域を実験サイトとして選んだ。図2.21は筑波山周辺の地形略図である。山の東、西、南方向に長い平坦地フェッチを持つ。図2.22には、地形の特徴を示してある。山頂の西側斜面は円弧状に平野に広がっている。山頂から北東方向へ尾根が伸び、加波山(709 m)へ繋がっている。尾根上には湯袋峠があり深い谷を形成している。山頂から南側に伸びる尾根上には風返峠、不動峠の2つの鞍部がある。これらの谷や鞍部は風の通り道となるため拡散実験の結果を解析する場合に留意する必要がある。

筑波山は観光地であるため、山岳道路網が発達している。このため、トレーサー捕集用のサンプラーの設置、回収が容易となり密な測定網を設定できる。また、放出用の機器を積んだ自動車を用いることにより、放出地点を最適な場所に設置できるため、主風向に係わらず効率のよい実験が行える。

2.3.2 実験方法

(1) 拡散実験

拡散実験には SF_6 と CBrF_3 の2種の気体トレーサーを用いた。これらのトレーサーを同時に2カ所から放出した。放出点は、風上山麓と山頂、風上山麓の地上と上空(地上200 m)、風上山麓の地上2地点などの組み合わせを用いた。高所放出にはヘリコプターを用い、ロータ下降流の影響を避けるため半径200 m程度で周回飛行をしながらトレーサーを放出した。

濃度の測定は、各所に設置したエアサンプラーで空気捕集(サンプリング)を行い、ガスクロマトグラフィで濃度分析を行う方法を用いた。地上サンプリングでは、予め約70地点の候補地点を決めておき、実験時には、風向や放出点の場所を考慮して30~40地点を選択して捕集を実施した。また濃度鉛直分布の測定を、放出点と山頂との間の斜面で車載型の中型係留気球と軽量サンプラーを用いて実施した。地上300 mまでの間に15 mないし30 m間隔で20台のサンプラーを使用した。放出点とサンプリング網の配置例を図2.23に示す。

放出時間とサンプリング時間は図2.24に示すように設定した。地上放出の場合は、気象条件が定常であると仮定した場合の連続放出時の濃度分布を取得できるよう、放出時間を長めに設定し、サンプリングはその後半部分で行った。高所放出の場合は、一定量放出のパフ状の濃度分布が移流する際の全時間積分濃度を測定することを目標とした。いずれの場合も放出点から離れたサンプラーでは、そのときの風速からトラベルタイムを見込んで、捕集時刻を適宜遅らせている。これらの方法を用いれば、気象状態の定常性を仮定すれば簡単な補正計算により相互比較が可能である。次節では、トレーサー30 kg/時(SF_6 では $1.38 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ 、 CBrF_3 では $1.36 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$)の連続放出に対する定常濃度に基準化した結果を示す。

(2) 特別気象観測

拡散実験期間中、山を取り巻く地域で各種の気象観測を行い、気象データの入手を図った。

起伏地形の影響を把握するために、風の鉛直分布の測定には特に重点をおき、測風気球（ダブルセオドライト方式）6地点、音波レーダ2～3地点、レーボール2～3地点による観測を実施した。これらの観測点の配置例を、図2.25に示す。地上風は筑波山を中心とした半径15kmの範囲に12台の自記風向風速計を設置して観測した。地上風観測と音波レーダによる上層風観測は1カ月間の連続観測を行った。この他、超音波風向風速温度計による稜線上と山麓での風速変動の測定、航空機による上層風、上層気温の測定を随時取入れた。

2.3.3 結果と考察

拡散実験は1984年10月15日～19日、1985年11月6日～10日の期間に19回実施された。2種のトレーサを用いたため、1回の実験で2ケースの濃度分布が得られる。全実験を通して得られた有意な濃度分布は22ケースであった。その内訳を表2.7に示す。夜間の実験は困難であるため日中の実験が殆どであるが、接地逆転が発達する早朝や夕刻の実験も実施した。濃度の鉛直分布が得られたのは11ケースである。

実験の結果明らかになった事項を以下に示す。

(1) 濃度分布パターンと気温の鉛直分布

図2.26～2.29に地上濃度分布の測定結果と、その時の山の北側、東側、南側での気温の鉛直分布の測定結果の例を示す。風上側山麓から放出されたトレーサが山頂を覆うように拡散する例（図2.26、2.28）と、風上側山腹でプルームが分岐して山体に沿って迂回するように流れる例（図2.27、2.29）があることが分かる。気温の鉛直分布をみると、プルームが分岐する場合は、地上数百mに渡る温位逆転が風上側に存在することが分かる。一方トレーサが山頂を覆う場合は、山頂（876 m）よりも高い層まで、ほぼ中立な気温分布を示している。

同じ様な濃度分布形の相違は、上空に強い温位逆転が存在する場合にも見られた。図2.30と図2.31は、ともに一般風が北風の場合の拡散実験の結果である。図2.30では山頂付近で数十pptの濃度が検出されているが、図2.31の実験例では、高所放出の結果であるにも係わらず、山頂付近ではバックグラウンド濃度しか検出されていない。この時の気温の鉛直分布をみると、図2.30の例では、放出点付近（山の北側）の800 m以上と山の西側500～600 mに弱い安定層が存在するのみであるのに対し、図2.31の場合は900 m付近に非常に強い温位逆転が存在する。図2.31の実験例では、この温位逆転のために、山頂を越える気流が抑制され迂回流が卓越したものと推測される。

この様に、山岳地形がある場合には気層の安定度がプルームの挙動そのものに大きな影響を与える。この点は、気層の安定度が主として拡散幅に影響を与える平坦地形上の拡散と比べて、複雑地形周辺の拡散の際だった特徴である。

(2) 地形による濃度主軸の迂回

測風気球、音波レーダの観測値から、図2.22に示した、西側円弧、湯袋鞍部、小幡・館鞍部に沿う流れの存在が推定されることが多い。図2.27、図2.29の分岐型の濃度分布は、このような気流による移流拡散の結果と解釈できる。図2.30、図2.31では、山の西麓に沿う円弧状の主軸が見られる。図2.32は図2.28と同じ実験時に異なる場所から高所放出したトレーサの地上濃度分布である。このトレーサは湯袋鞍部に沿って北側に流れ、山の北面では図2.28のトレー

サとほぼ同じあたりに主軸が位置している。

(3) 放出物の滞留、蓄積

起伏地形周辺では平坦地形の場合と比べて弱風時における風向風速の局所性（非一様性）が大きくなる。これを反映して、放出物が山腹に滞留蓄積することがおこる。特に温度成層が安定な場合にこれが顕著である。図 2.33 は放出物の滞留が生じた実験例である。地上から放出したトレーサの分布（図中点線）、高所放出トレーサの分布（図中破線）いずれも、有為な濃度が観測されたのはごく限られた狭い領域である。この時の風向風速をみると、特に下層では山の東側と西側とではまったく異なっていた。なおこの時の放出時間は 30 分、サンプリング時間は 1 時間 30 分である。

(4) 山腹に沿う薄い山岳下降流

図 2.34 は北東象限から吹く一般風を予想して、山の北側と東側から地上放出を行った実験例である。この時有意な濃度が測定されたのは、北側のトレーサに関しては放出点よりも北側のサンプラー、東側のトレーサに関しては放出点の東側のサンプラーのみで、いずれのトレーサも山頂と反対側に流れたことを示す。この時の風向は、地上 100 m 以上ではほぼ全域に渡り北北東である。実験は日没近くに行われ、サンプリング開始時刻の気温プロファイルでは接地逆転が見られる。この場合は山頂から山麓に向かい放射状に流れる厚さ 100 m 以下の山岳下降流が存在し、トレーサはこの流れによって平地方向に流されたものと考えられる。

(5) 濃度の鉛直分布

濃度の鉛直分布の測定は、各ランにつき風上斜面上の 1 地点で実施した。このうち表 2.8 に示す 12 例について有意な結果が得られた。この表には、放出点の地上高 (H)、サンプリング点で最大濃度の生じた地上高、濃度分布から

$$\sigma_z = \frac{\sum \chi(z) (z - \bar{z})^2}{\sum \chi(z)}$$

により求めた鉛直拡散幅を示してある。 $\chi(z)$ は濃度、 \bar{z} は濃度分布の重心の高さで、

$$\bar{z} = \frac{\sum \chi(z) z}{\sum \chi(z)}$$

により求めた。放出点から鉛直サンプリング点までの水平距離は 1.5 ~ 3.5 km、放出点の標高は約 50 m、測定点の標高は 180 ~ 400 m である。地上放出であるにも係わらず地上高の高い測定点で最大濃度が測定された例が 3 例ある一方、高所放出に対し最大濃度が地上で生じたのは 2 例である。1985 年のラン 8 では、同一放出位置で地上、高所の同時放出を行い、両濃度が得られた。この時は何れも地表で最大濃度が生じている。表の最後の 2 欄には、パスキルの σ_z 、パスキル-ギフォード-スミス の $z_0 = 100 \text{ cm}$ のときの σ_z を示してある。実験結果から求めた値はパスキル-ギフォード-スミスの値に比較的近い。

(6) 風下山麓における力学的な乱れ

山の北麓の真壁と東麓の八郷の 2 地点で音波ドップラーレーダにより上層風の連続観測を行った。音波ドップラーレーダは、上空 3 方向に送出したパルス状の音波の後方散乱を捉え、そ

のドップラーシフトにより風速を測定する。今回使用した装置では、風向(deg)、風速(u)、風の鉛直成分(w)の10分平均値と、それらの標準偏差 σ_D 、 σ_u 、 σ_w を高さ50m毎に測定する。標準偏差は風の乱れを表わす。図2.35～2.38に、地上150～300m層の σ_w と300m高の平均風速の時間変化を示す。音波ドップラーレーダで測定された200m高での平均風と、ゾンデによる気温測定より

$$SR = \left(\frac{\Delta \theta}{\Delta z} \right) \sqrt{u_{200}^2}$$

により求めた安定度指数(SR)も示してある。図2.35は、晴れた日中から夜間にかけての日変化である。筑波山から加波山にいたる尾根と平行に吹いていた風が、午後二時ごろから南東風になり、真壁が山の風下側に、また八郷が風上側となった。大気が安定になるとともに、風下側の平均風速も乱れも増加し、両地点の σ_w の相違が大きくなる。真壁の σ_w は、日中不安定時の値に近くなる。図2.36は、午後から夜間にかけての中立～安定時に、北東風が北西風に変化した時の観測例である。この風向変化により真壁は山の風上側に、八郷は風下側となる。 σ_w は、風下側が大きくなるように変化している。図2.37は、終日真壁が風下で、安定度の日変化が大きい時の観測例である。日中の不安定時に両地点の σ_w が大きくなる。

以上の例から、安定時の山塊の風下側では、斜面吹きおろしも含め風速が増大し、力学的な乱れが発達して日中の不安定時と同等な σ_w (平均化時間10分)をもたらすように見える。この σ_w の増加が平均風速の増加によるものか、あるいは山岳地形の影響であるかは、(σ_w/u)を調べなければ、断定はできない。しかし、平均風速の差は小さいのに、風下側の σ_w が大きい例として図2.38の観測例がある。このときは日の出後も下層雲に覆われ降水があった。

測風気球の観測でも、山の風下側でスケールの大きな力学的乱れが示唆される観測例がある。図2.39は、山の風下側の観測点で、15分間隔で3回連続的に実施した測風気球のダブルセオドライト追跡の結果である。山頂高度よりも高い層では観測結果はよく一致しているが、600m以下では、観測結果のばらつきが激しい。山の風上側の観測点では、この様なばらつきは観測されなかった。安定時の観測例はないが、このような風の乱れは、山の風下側のキャビティ領域に相当する乱れとも考えられ、拡散への影響に興味もたれる。

以上の様に、限られた回数の実験ではあったが、平坦地形と著しく異なる拡散特性を示すデータが得られた。作業の困難さのために地形効果が顕著と思われる夜間安定時のトレーサ実験は行われず、今後の課題として残された。

2.4 おわりに

一連の野外拡散実験は、原子力施設からの放射性物質の異常放出の際の環境評価に役立つ実測データの入手に目的をしぼって実施された。トレーサの放出高度やサイトの選択など、実験手法もこの様な観点から決められた。今回の実験は熟練した人員を多数動員し大規模に行われたものであり、原子力分野のみならず、気象学、大気汚染研究など、様々な分野で役立つ情報を含んでいると思われる。一連のデータはデータ集として公開されている。^{2), 3), 4)}

実験にあたり、茨城県、東海村、筑波町、真壁町、八郷町の各管署関係者の御協力、ならびに地元の方々から頂いた御好意に感謝致します。

参考文献

- (1) Lyons, W. A., and H. S. Cole : Fumigation and plume trapping on the Shores of Lake Michigan during stable onshore flow. J. Appl. Meteor., 12, 495~510 (1973)
- (2) 角田道生他：大気拡散実験データ Vol. 1, JAERI - M 86 - 021 (1986)
- (3) 角田道生他：大気拡散実験データ Vol. 2, JAERI - M 86 - 097 (1986)
- (4) 角田道生他：大気拡散実験データ Vol. 3, JAERI - M (Preparing)

表 2.1 大気拡散実験一覧

年	実施時期	実施場所	内容・重点
1980	10月15 - 19日	茨城県東海村 (沿岸平坦地形)	高所ラインソース, 海岸線から10 km 範囲, 鉛直濃度分布, 海陸温度差小
1981	8月20 - 28日	同 上	高所ラインソース, 海岸線から10 km 範囲, 鉛直濃度分布, 海陸温度差大
1982	8月1 - 9日	同 上	高所点源, 海岸放出点から15 km 半円範囲, 水平濃度分布
1983	8月3 - 9日	同 上	高所点源, 海岸放出点から15 km 半円範囲, 水平鉛直濃度分布
1984	10月15 - 19日	茨城県筑波山 周辺 (起伏地形)	地上及び高所点源, 風上山麓と山頂の同時放出
1985	11月6 - 10日	同 上	地上及び高所点源, 風上山麓の2地点で同時放出

表 2.2 トレーサガスの放出条件 (1980年, 線状源)

Run	月日	SF ₆ 放出量 (kg)	放出時間 t (h)	放出速度 a/t (m ³ /s)	5 kmコース 南下時間 (s)	5 kmコース 北上時間 (s)	5 kmコース 上時間 t ₁ (s)	t ₁ /t	放出強度Q = a t ₁ / t (m ³ /s/m)	有効線状 源長 ℓ ₁ t ₁ (km)	選択コース	コース両端の 目標物の色
1	10/15	75.4	1.49722	2.28×10 ⁻³	1902	2111	4013	0.7445	3.40×10 ⁻⁷	6.72	北寄り	白-白
2	10/16	63.0	1.50556	1.89×10 ⁻³	1915	2178	4093	0.7552	2.85×10 ⁻⁷	6.62	中央	赤-赤
3	10/16	66.7	1.51167	2.00×10 ⁻³	1912	2141	4053	0.7502	3.00×10 ⁻⁷	6.66	中央	赤-赤
4	10/17	70.3	1.50417	2.11×10 ⁻³	2040	2079	4119	0.7607	3.21×10 ⁻⁷	6.57	南寄り	黄-黄
5	10/18	70.2	1.50278	2.11×10 ⁻³	2051	2073	4124	0.7623	3.22×10 ⁻⁷	6.56	北寄り	白-白
6	10/18	70.9	1.50833	2.13×10 ⁻³	1638	2375	4013	0.7390	3.15×10 ⁻⁷	6.77	北寄り	白-白
7	10/19	68.6	1.47639	2.10×10 ⁻³	1869	2037	3906	0.7349	3.09×10 ⁻⁷	6.80	北寄り	白-白

(注) ℓ₁ = 5 km = 5000 m, SF₆ の密度は 1 リットル当り 6.139 g (20°C, 1 atm).

SF₆ の放出高度は海面より 150 m 高, 放出位置は海岸線または海岸線より 30 ~ 50 m の海上.

有効線状源長とは, ヘリコプターが 5 km のコースの両端で旋回する時に, 仮りに直線上を往復したと仮定した場合の線状源の全長のこととする。

第2.3表 トレーサガスの放出条件 (第2年度, 線状源)

RUN	月日	放出 開始時刻 h m s	放出 終了時刻 h m s	放出時間 (t) sec	SF ₆ 放出量		放出速度 (a/t) m ³ /sec	放出強度 (a/L.L=Q) m ³ /s·m	選択コース	放出コース上		平均巡回時間	
					(a) kg	(a) m ³				南下平均時間 (1回あたり) sec (回数)	北上平均時間 (1回あたり) sec (回数)	N端 sec	S端 sec
1	8/20	9 32 03	11 00 00	5277	75.5	12.418	2.35×10 ⁻³	3.57×10 ⁻⁷	北コース	139 (11)	193 (11)	72	90
2	"	15 01 26	16 29 18	5272	70.8	11.645	2.21×10 ⁻³	3.35×10 ⁻⁷	"	155 (11)	166 (10)	94	97
3	8/21	放出なし											
4	8/24	10 01 53	11 30 00	5287	65.6	10.789	2.04×10 ⁻³	3.09×10 ⁻⁷	北コース	153 (11)	172 (10)	100	103
5	"	13 30 00	14 59 02	5342	72.8	11.974	2.24×10 ⁻³	3.40×10 ⁻⁷	"	149 (11)	170 (11)	93	91
6	"	16 30 00	17 59 04	5344	71.1	11.694	2.19×10 ⁻³	3.32×10 ⁻⁷	"	155 (11)	162 (11)	94	91
7	8/25	8 30 00	9 58 31	5311	65.3	10.740	2.02×10 ⁻³	3.06×10 ⁻⁷	"	148 (11)	173 (11)	92	89
8	"	12 30 00	14 01 43	5503	65.7	10.806	1.96×10 ⁻³	2.98×10 ⁻⁷	"	155 (11)	166 (11)	102	93
9	"	15 30 10	16 17 05	2815	42.9	7.056	2.51×10 ⁻³	3.34×10 ⁻⁷	南コース	194 (6)	170 (5)	81	78
10	8/28	14 00 00	15 30 00	5400	59.5	9.786	1.81×10 ⁻³	2.75×10 ⁻⁷	北コース	153 (11)	168 (11)	91	89
11	"	16 31 12	18 00 00	5328	47.3	7.780	1.46×10 ⁻³	2.21×10 ⁻⁷	"	158 (11)	159 (11)	92	95

(注) L (線源長) は北コースは6600m, 南コースは7500m。
ρ (SF₆の密度) は, 6.08g/l (23°C, 1atm) を用いた。

第2.4表 トレーサガスの放出条件と捕集時間 (第3年度, 点状源)

Run	月 日	カス 名 称	放 出 開始時刻	放 出 終了時刻	放 出 時間 (t) sec	ガス放出量		放出強度 (a/t) m ³ /sec	地 上 捕 集 時 間		鉛 直 捕 集
						Kg	(a) m ³		半径 10 km 以内	半径 15 km	
1	8月4日	SF ₆	13時00分	14時30分	5400	81.3	13,416	2.48×10 ⁻³	14時00分~14時30分	14時30分~15時00分	14時00分~14時30分
		CB _r F ₃				82.1	13,437		"	"	"
2	8月5日	SF ₆	11時00分	14時00分	10800	14.32	23,630	2.19×10 ⁻³	12時00分~12時30分	12時30分~13時00分	12時00分~12時30分
		CB _r F ₃	11時00分	12時30分		80.1	13,110		"	"	"
3	8月5日	SF ₆	11時00分	14時00分	10800	14.32	23,630	2.19×10 ⁻³	13時30分~14時00分	14時00分~14時30分	13時30分~14時00分
4	8月5日	SF ₆	15時00分	16時30分	5400	79.3	13,086	2.42×10 ⁻³	16時00分~16時30分	16時30分~17時00分	16時00分~16時30分
		CB _r F ₃				81.0	13,257		"	"	"
5	8月6日	SF ₆	09時00分	12時00分	10800	137.1	22,624	2.09×10 ⁻³	10時00分~10時30分	10時30分~11時00分	10時00分~10時30分
6	8月6日	SF ₆	09時00分	12時00分	10800	137.1	22,624	2.09×10 ⁻³	11時30分~12時00分	12時00分~12時30分	11時30分~12時00分
7	8月6日	SF ₆	14時00分	17時00分	10800	166.1	27,409	2.54×10 ⁻³	15時00分~15時30分	15時30分~16時00分	15時00分~15時30分
8	8月6日	SF ₆	14時00分	17時00分	10800	166.1	27,409	2.54×10 ⁻³	16時30分~17時00分	なし	16時30分~17時00分
9	8月7日	SF ₆	11時00分	12時30分	5400	68.5	11,304	2.09×10 ⁻³	12時00分~12時30分	12時00分~12時30分	12時00分~12時30分
10	8月7日	SF ₆	14時30分	16時00分	5400	74.0	12,211	2.26×10 ⁻³	15時30分~16時00分	16時00分~16時30分	15時30分~16時00分
11	8月8日	SF ₆	10時00分	11時30分	5400	63.7	10,512	1.95×10 ⁻³	11時00分~11時30分	11時30分~12時00分	11時00分~11時30分

(注) ① Run 2とRun 3, Run 5とRun 6, Run 7とRun 8はSF₆を連続放出した。

② 放出高度はすべて地上高120 mとした。

③ SF₆の密度は6.06 g/l (24℃, 1気圧), CB_rF₃の密度は6.11 g/l (24℃, 1気圧)を用いた。

第 2.5 表 トレーサガスの放出条件と捕集時間 (第 4 年度, 点状源)

Run	月 日	ガス 名 称	放 出 開始時間	放 出 終了時刻	放出時間 min	ガス放出強度		放出高 m	捕 集 時 間			鉛直捕集地点	
						kg/h	$m^3/s \times 10^{-3}$		地上の 10km 以内	地上の 15km	鉛 直		
1	8/4	SF ₆	9:00	10:30	90	3.87	1.77	120	10:00 ~ 10:30	10:30 ~ 11:00	10:00 ~ 10:30	K22	K24
		CBrF ₃	9:00	10:22	75	4.06	1.85	60					
2	8/4	SF ₆	15:00	16:30	90	2.58	1.18	120	16:00 ~ 16:30	16:30 ~ 17:00	16:00 ~ 16:30	K21	K22
		CBrF ₃				2.43	1.10	60					
3	8/5	SF ₆	13:00	14:30	90	2.91	1.33	120	14:00 ~ 14:30	14:30 ~ 15:00	14:00 ~ 14:30	K11	K21
4	8/6	SF ₆	13:00	14:30	90	2.98	1.37	120	14:00 ~ 14:30	14:30 ~ 15:00	14:00 ~ 14:30	K11	K15
5	8/8	SF ₆	10:00	11:30	90	3.09	1.42	120	11:00 ~ 11:30	11:30 ~ 12:00	11:00 ~ 11:30	K12	K13
6	8/8	SF ₆	11:30	13:00	90	3.04	1.39	120	12:30 ~ 13:00	13:00 ~ 13:30	12:30 ~ 13:00	K12	K13
7	8/8	SF ₆	17:00	18:30	90	3.11	1.43	120	18:00 ~ 18:30	18:30 ~ 19:00	18:00 ~ 18:30	K13	K14
		CBrF ₃				3.15	1.43	60					
8	8/9	SF ₆	10:00	11:30	90	3.04	1.39	120	11:00 ~ 11:30	11:30 ~ 12:00	11:00 ~ 11:30	K14	K24
9	8/9	SF ₆	16:30	18:00	90	3.03	1.39	60	17:00 ~ 17:30	17:30 ~ 18:00	17:30 ~ 18:00	K24	K32

(注) 1. Run 5 と Run 6 は SF₆ を連続放出した。

2. SF₆ の密度は 6.06 g/l (24℃, 1気圧), CBrF₃ の密度は 6.11 g/l (24℃, 1気圧) を用いた。

表 2.6 地上と上空の安定度の
組み合わせで分類したときの観測回数

地上 日射量・風速	海岸150m高 付近気温勾配(°C)							計
	~-1.9 A	-1.9 ~-1.7 B	-1.7 ~-1.5 C	-1.5 ~-0.5 D	-0.5 ~-1.5 E	1.5 ~4.0 F	4.0 ~ G	
A					4	1		5
A-B				2	2	2		6
B				1	6	3		10
B-C				2	1			3
C				1	3			4
C-D								
D				2	5		1	8
E								
F								
計				8	21	6	1	36

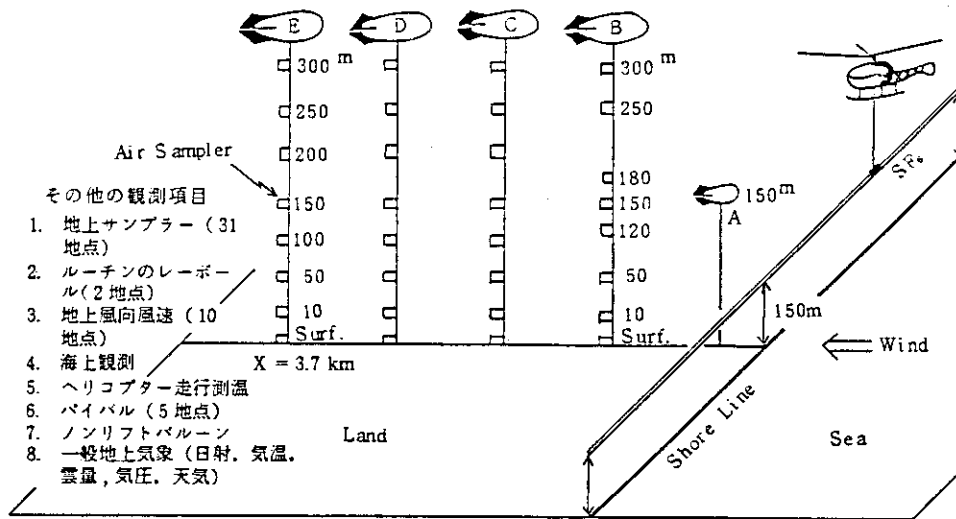
表 2.7 有意な地表濃度分布の得られたケースの分類
(1984, 1985年全38ケース中)

時間帯		放出高度		鉛直分布取得
		0 (4)	200 m	
朝 (09h 以前)	1	1	0	0
日中 (09-16h)	15	10	5	8
夕 (16h 以後)	6	5	1	3
計	22	16	6	11

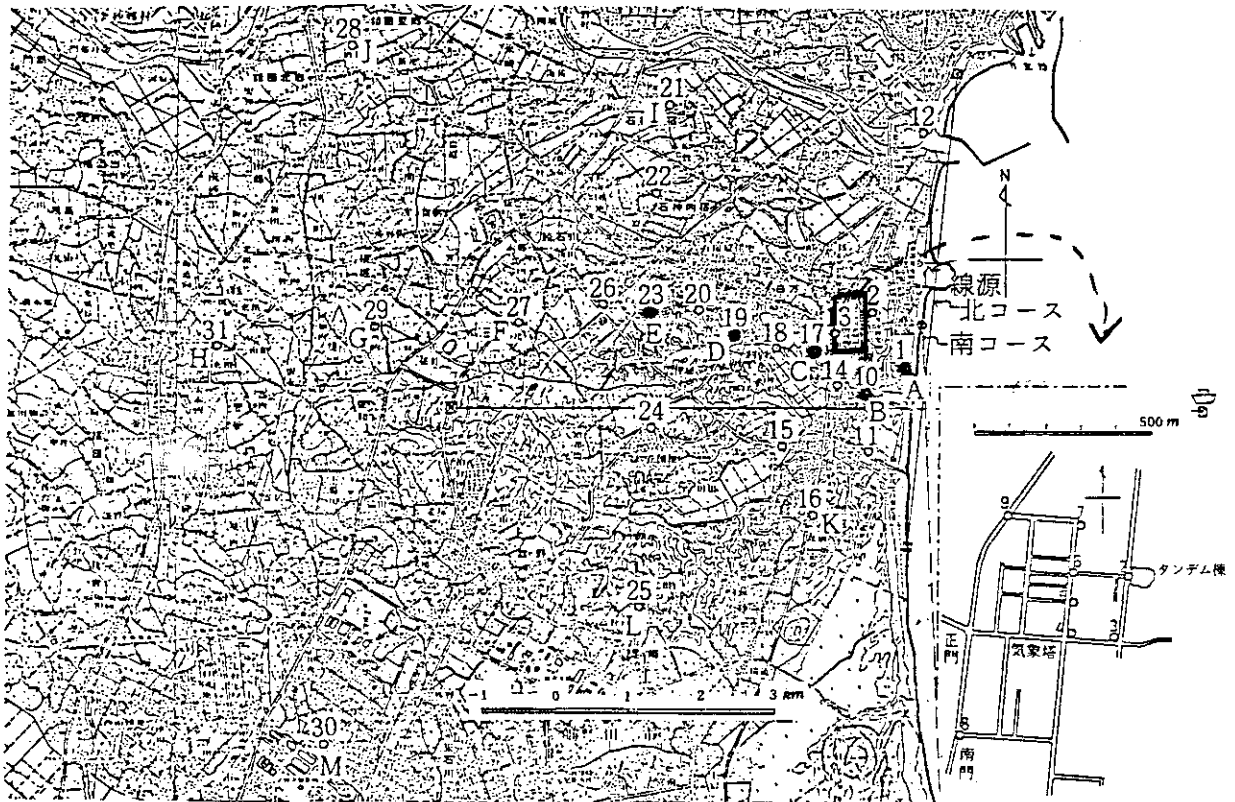
表 2.8 濃度の鉛直分布の取得状況

実験Run	放出高さ	時刻	最大濃度 出現高さ	σ_z (実験)	σ_z (文献値)		鉛直サンプル 風下距離(km)
					P	PGS	
84R-1	0 m	10 : 30	200 m	79 m	49	75	1.8
84R-4	0	09 : 30	ほぼ一様		53	83	2.0
84R-8	200	13 : 00	"		57	87	2.2
84R-9	200	16 : 00	0	97	57	87	2.2
85R-1S	0	16 : 00	0	118	49	75	1.8
85R-2S	0	13 : 00	50	92	75	118	3.4
85R-3C	0	10 : 00	220	51	70	110	3.0
85R-3S	0	"	一様		39	60	1.3
85R-6C	0	15 : 00	0	92	53	83	2.0
85R-7C	0	09 : 00	0	79	49	75	1.8
85 8C	0	13 : 00	0	74	49	75	1.8
85 8S	200	"	0	92	53	83	2.0

*) P はパスキル, PGS はパスキル・ギフォード・スミス
($Z_0 = 100$ cm とした場合) の値。

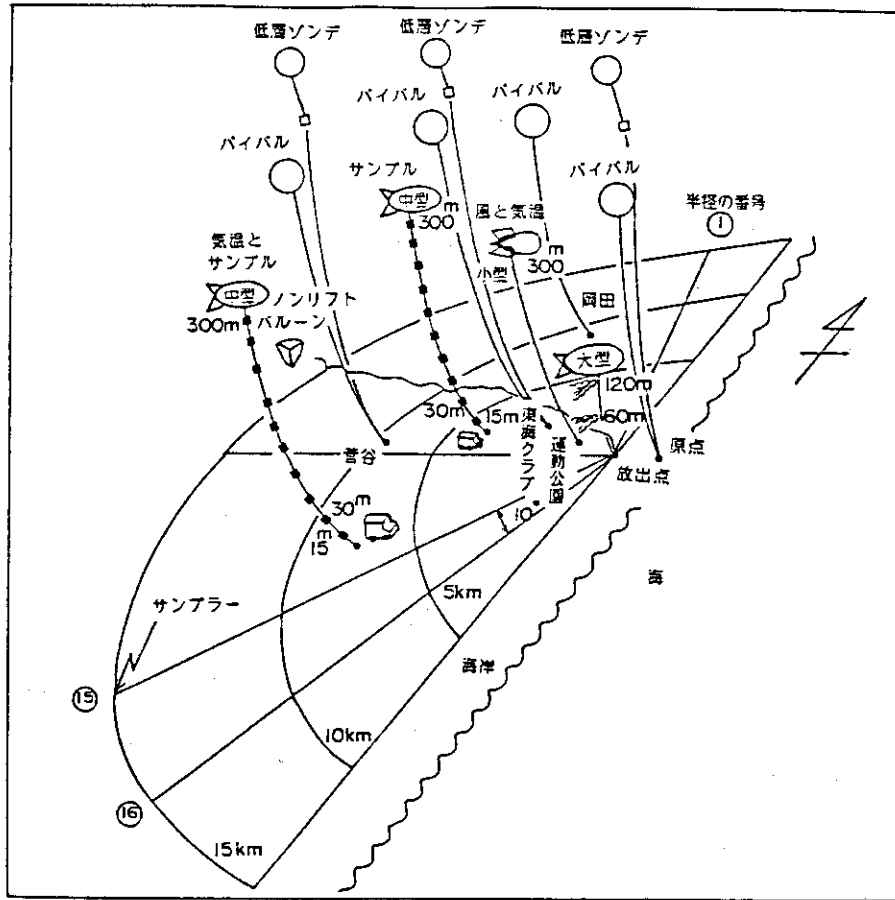


第 2.1 図 線状源を用いた拡散実験の模式図

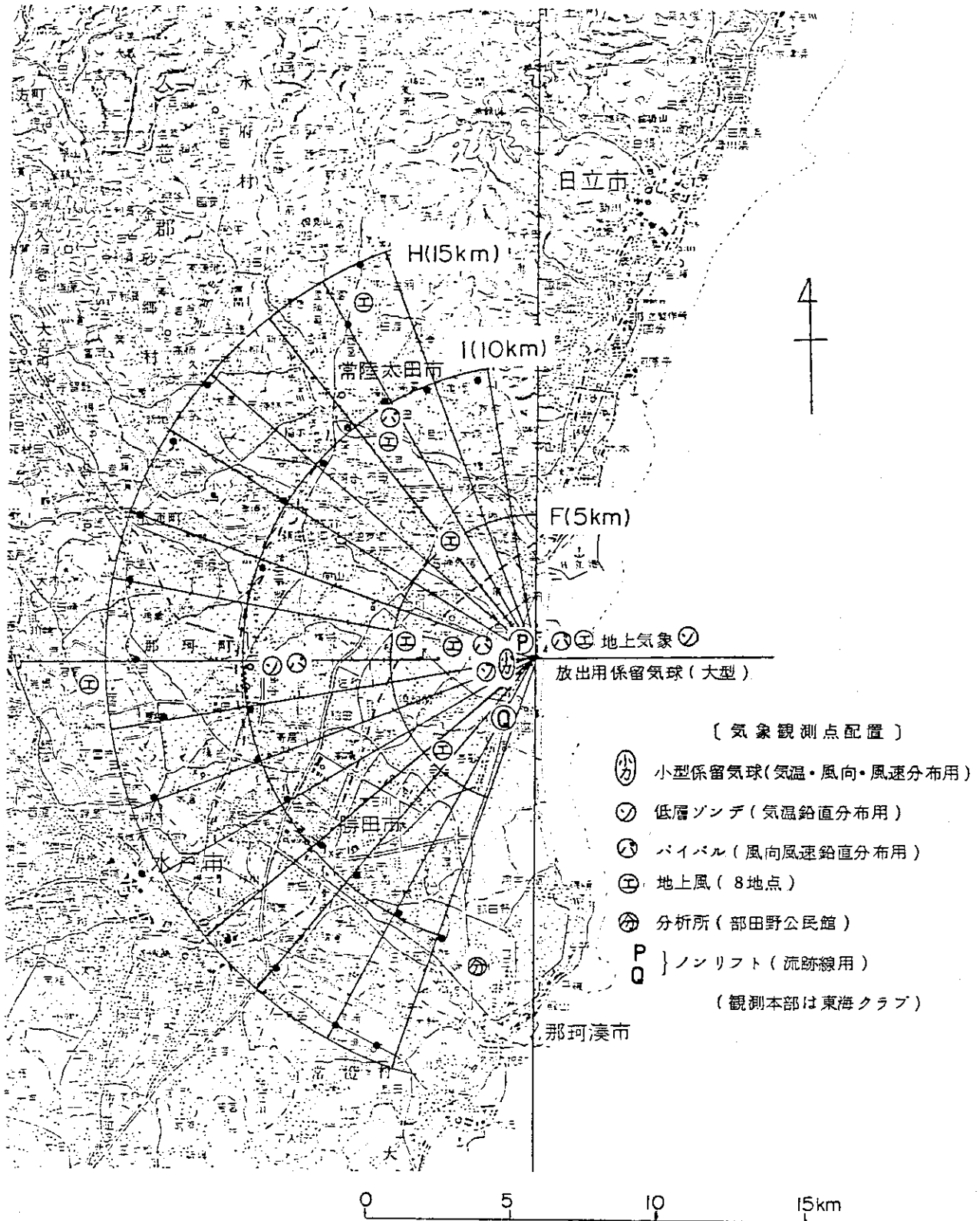


- 1 ~ 31 : エア・サンブラ (地上)
- : 係留気球 A ~ E 点
- C, H, 海上 : 低層ゾンデ

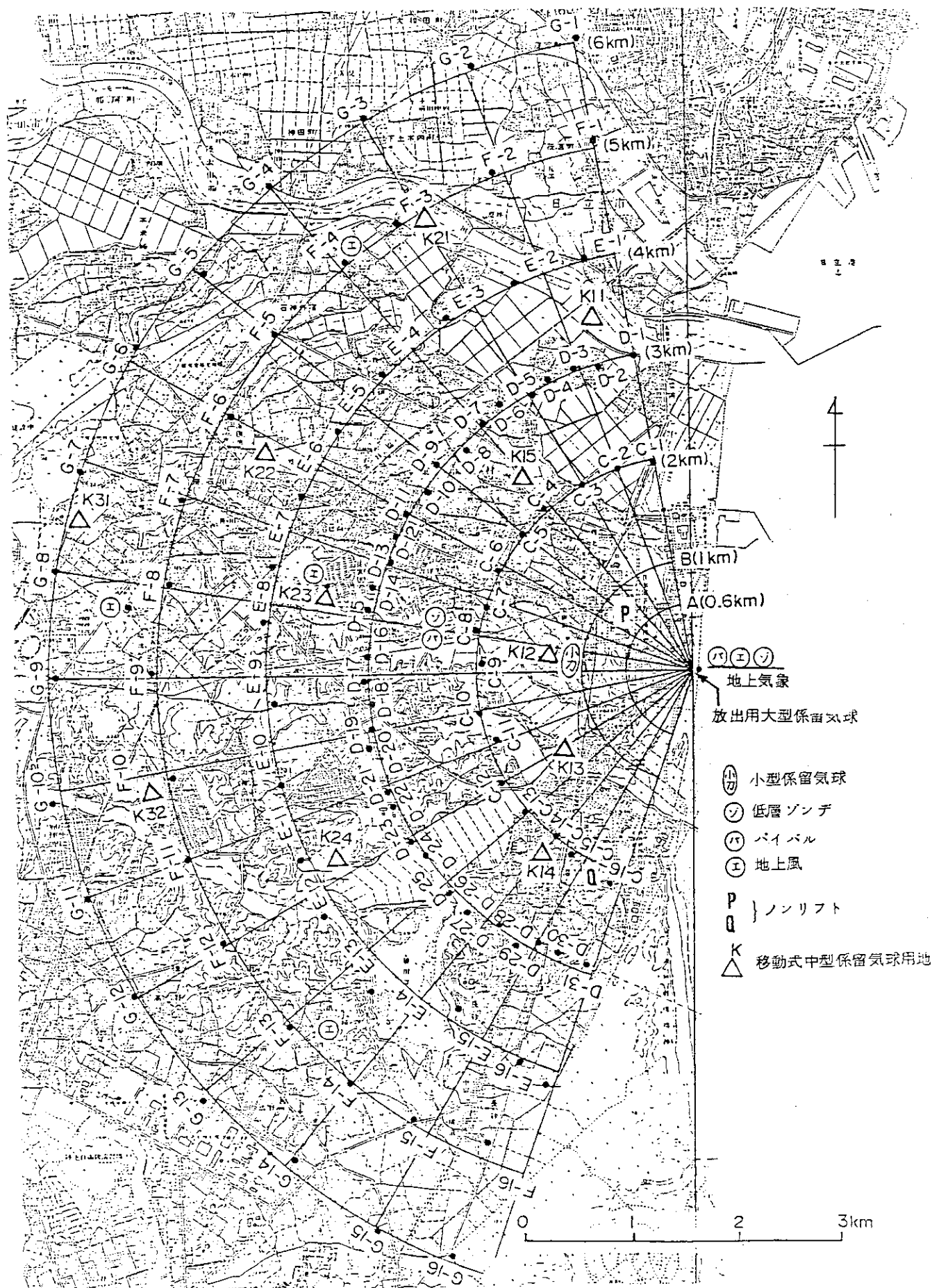
第 2.2 図 線状源実験の観測点配置図



第 2.3 図 点源実験の模式図



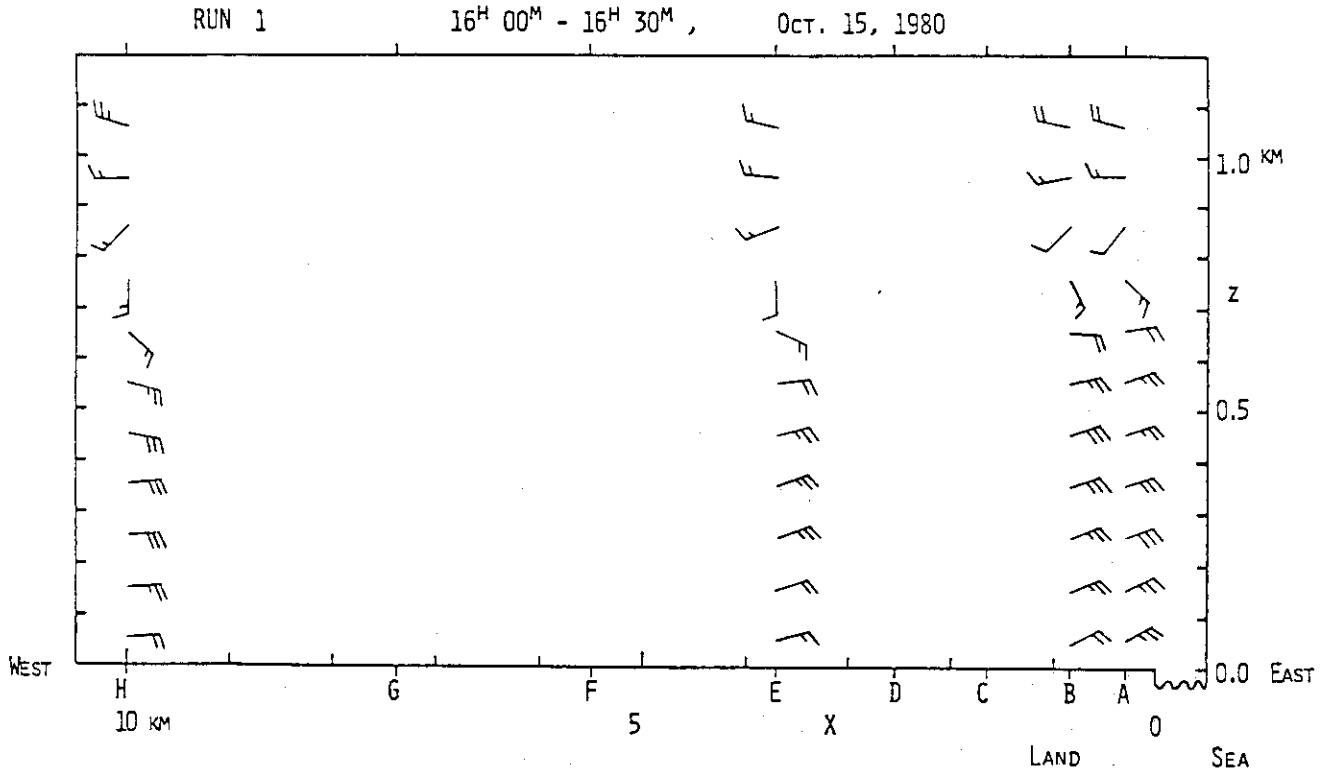
第 2.4 図 点源方式拡散実験の観測点配置図 (全地域)



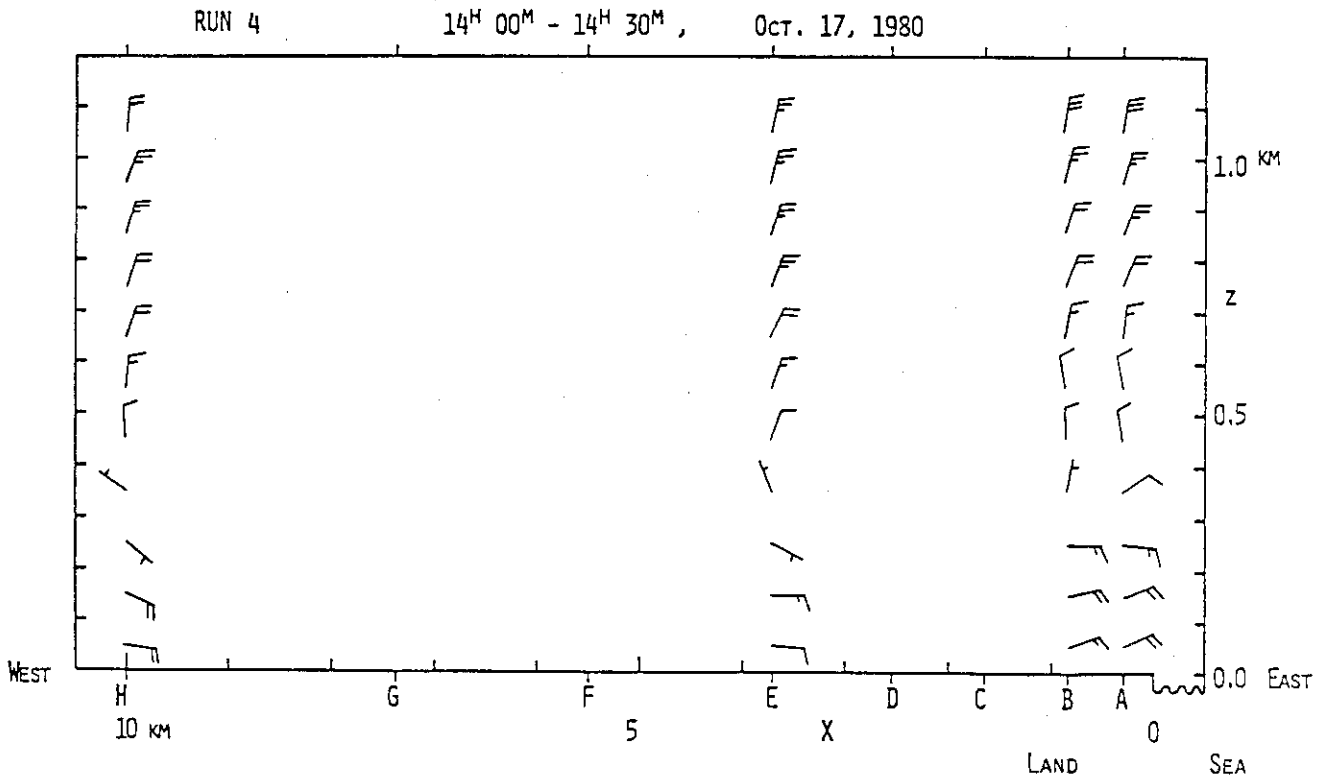
第 2.5 図 点源方式拡散実験の観測点配置図 (6 km 以内の詳細配置図)



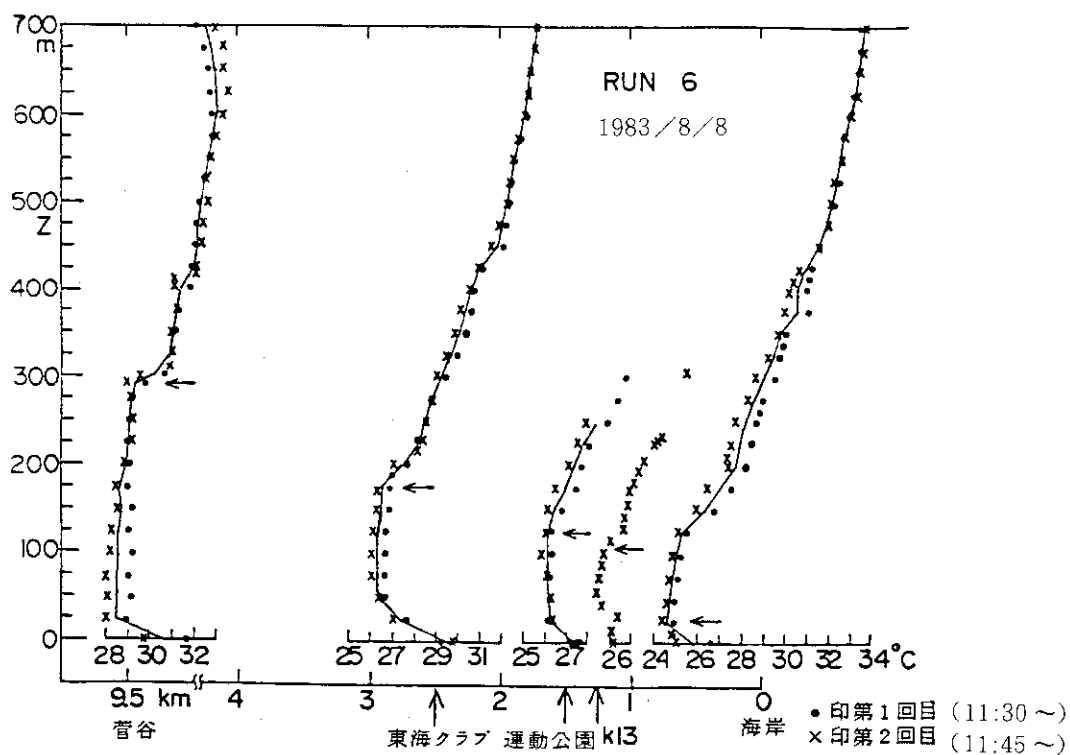
第 2.6 図 点源方式拡散実験の観測点配置図 (1 km 以内の詳細配置図)



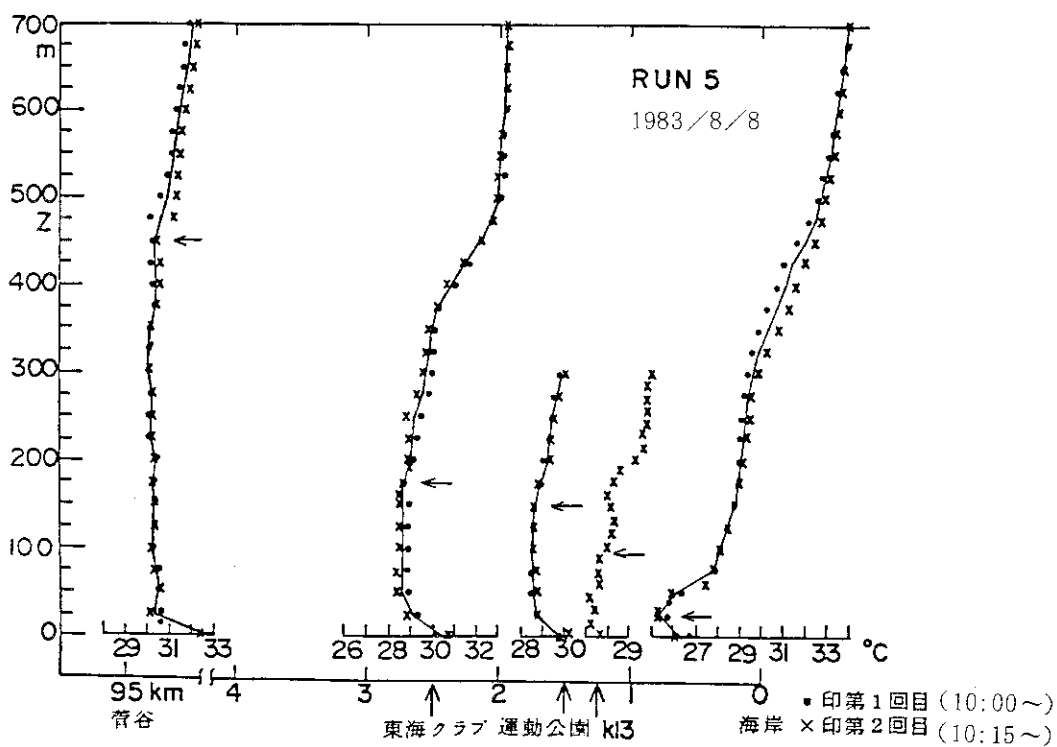
第 2.7 図 測風気球による水平風向風速分布の鉛直断面図 (15 分毎 3 個の観測値の平均)



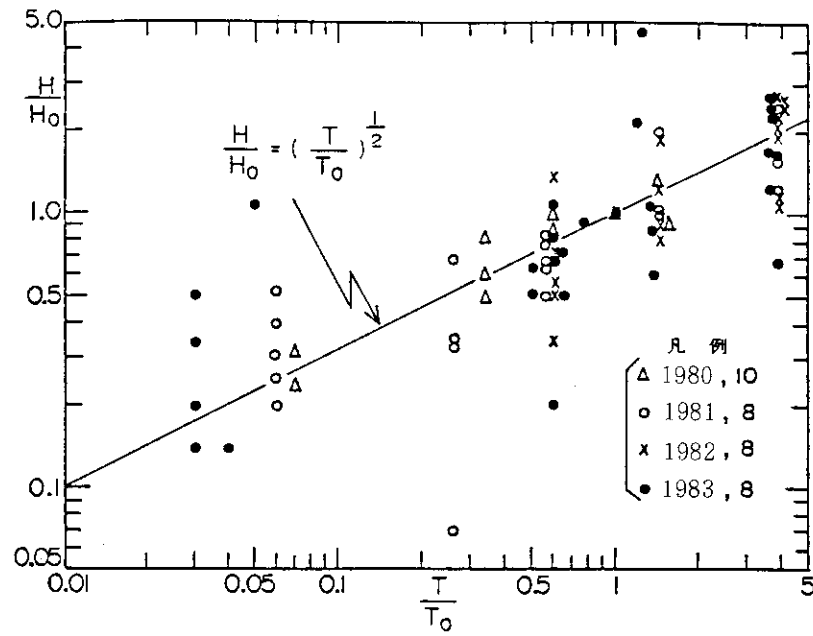
第 2.8 図 測風気球による水平風向風速分布の鉛直断面図 (15 分毎 3 個の観測値の平均)



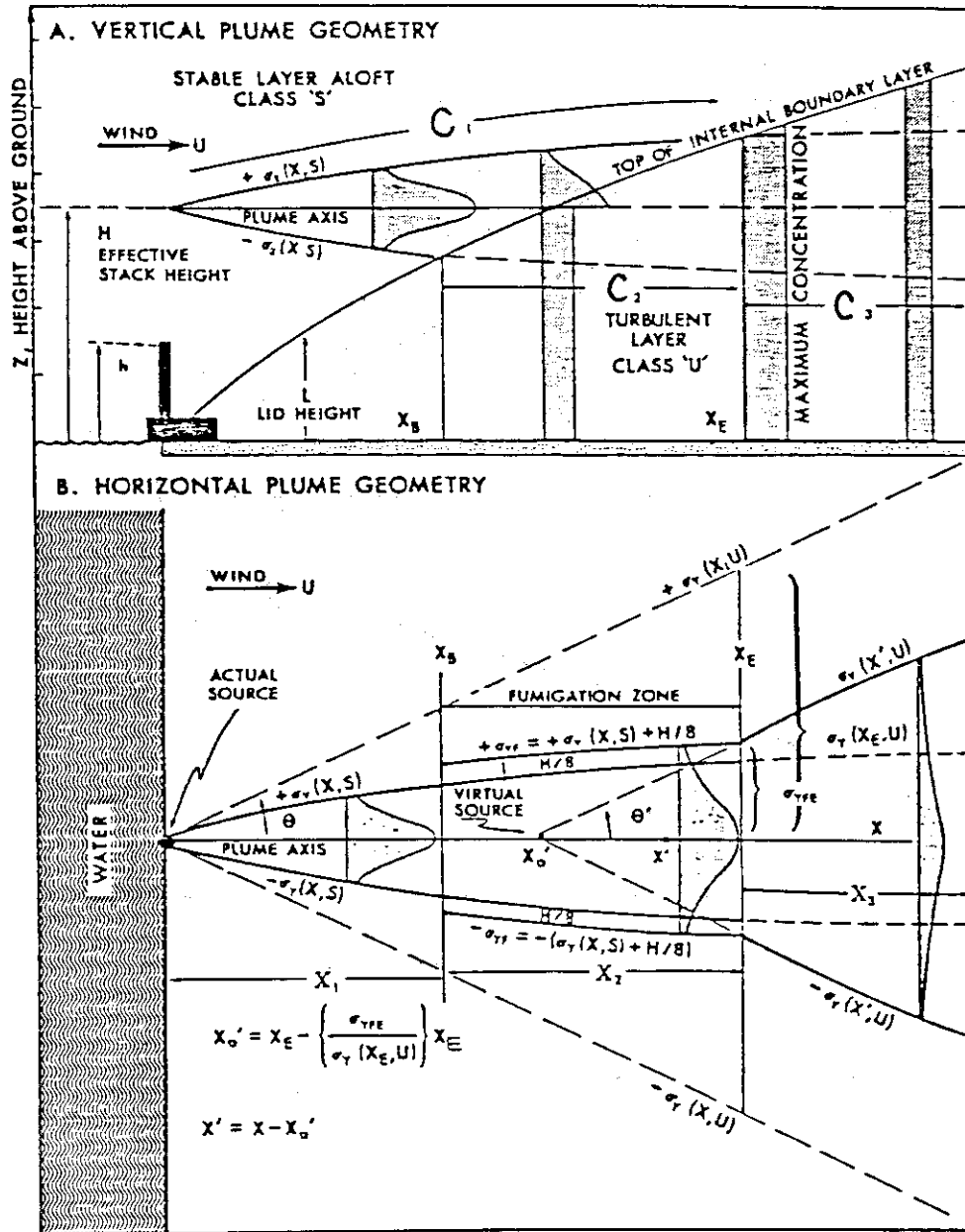
第2.9図 各地点の温位 ($\theta - 273$) の鉛直分布。図中の矢印は内部境界層の推定高度を示す。



第2.10図 各地点の温位 ($\theta - 273$) の鉛直分布。図中の矢印は内部境界層の推定高度を示す。



第2.11図 気流の到達時間と内部境界層高度の関係（4年間のデータによる）



Geometry used in the calculation of pollutant concentrations during periods of continuous fumigation. See text for explanation.

第2.12図 フミゲーションモデルの模式図 (Lyons and Cole : 1973 より)

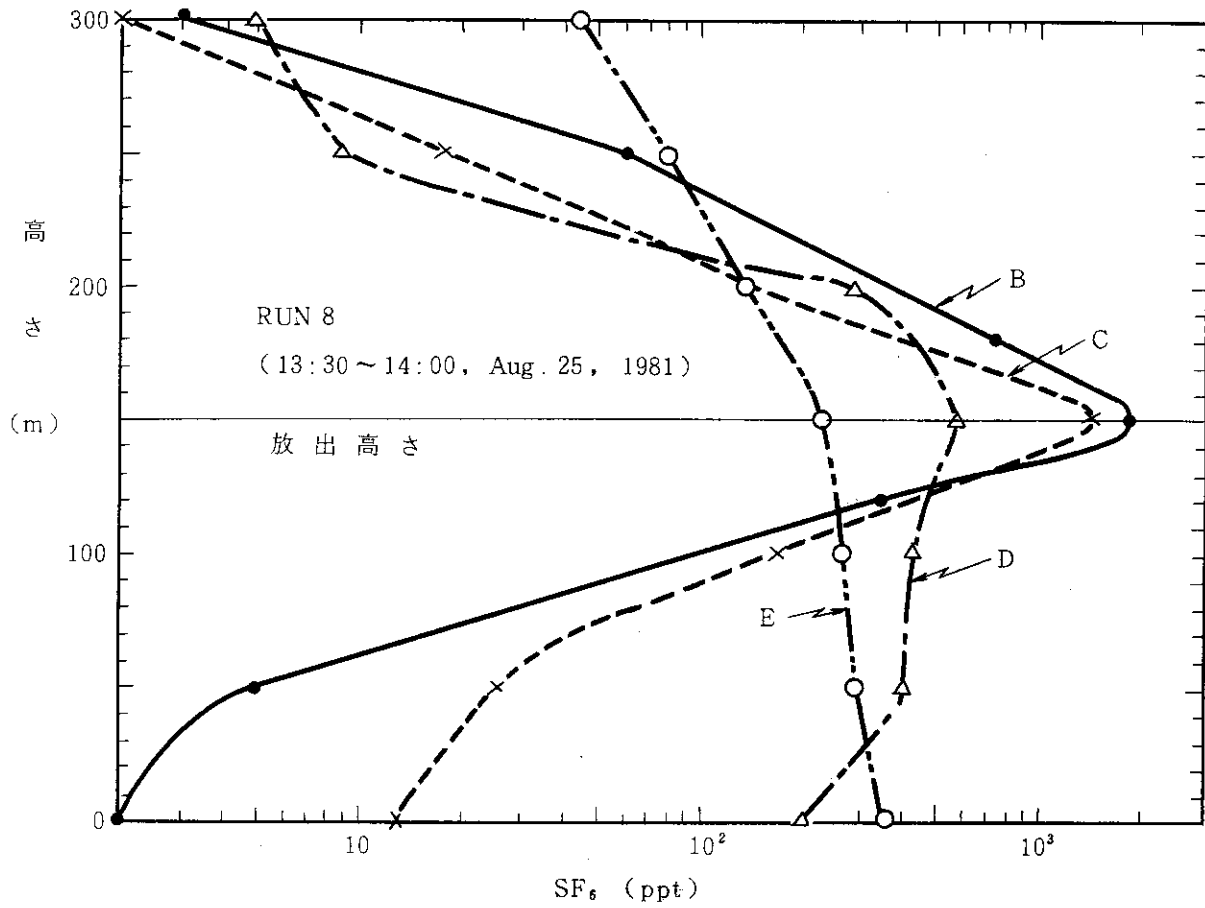
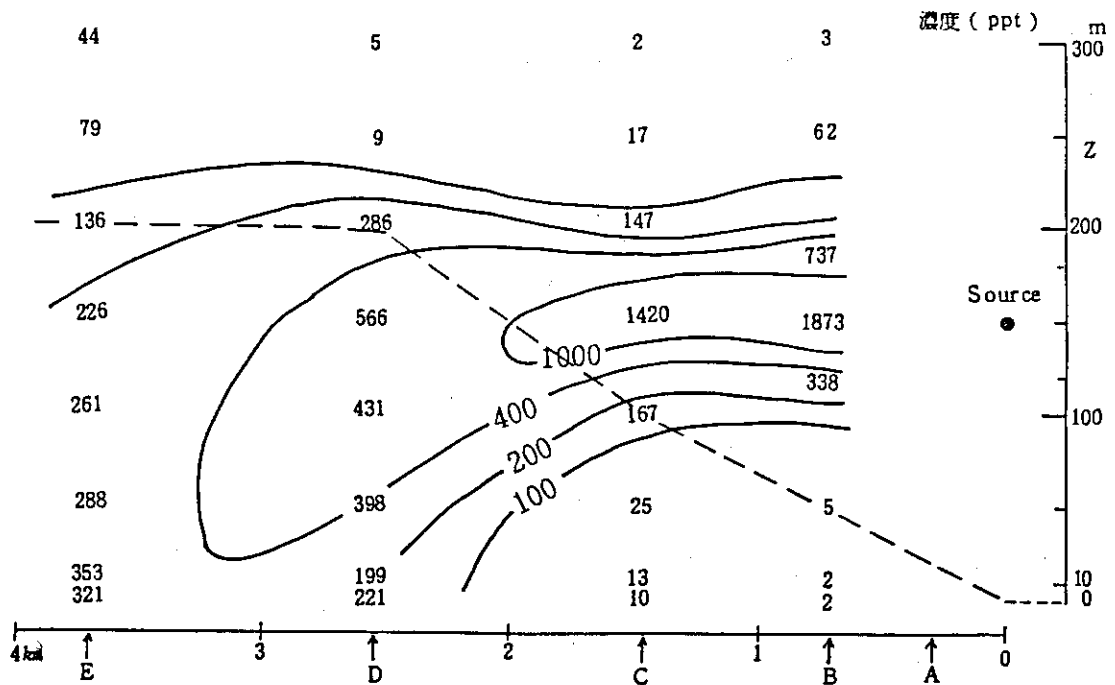
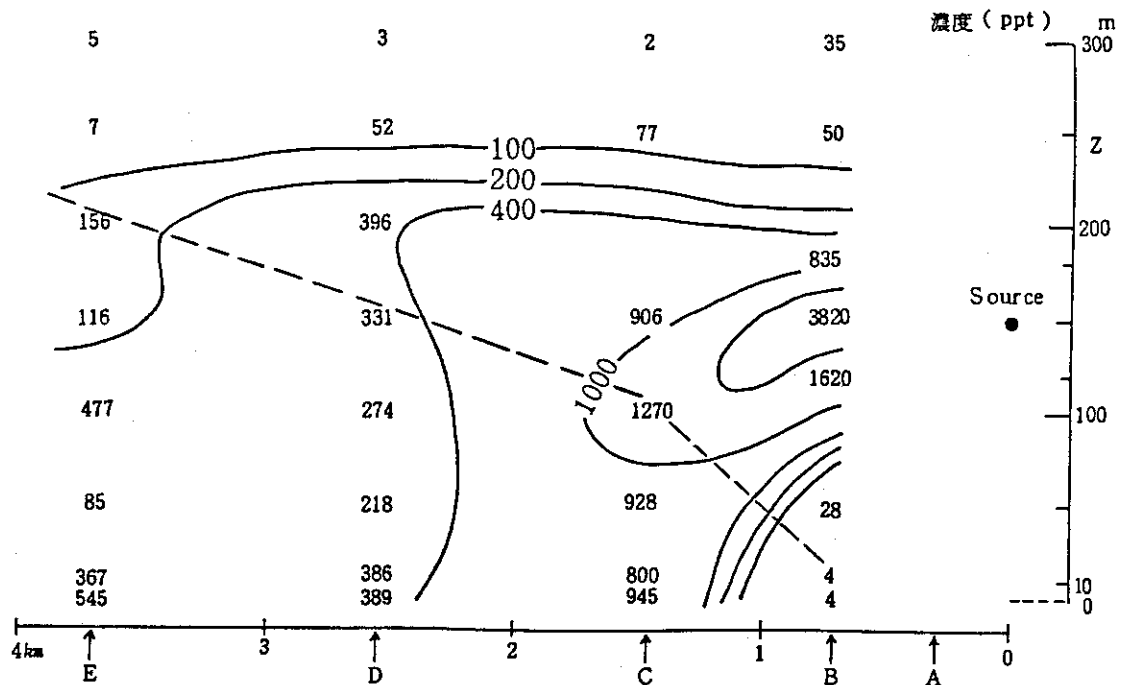


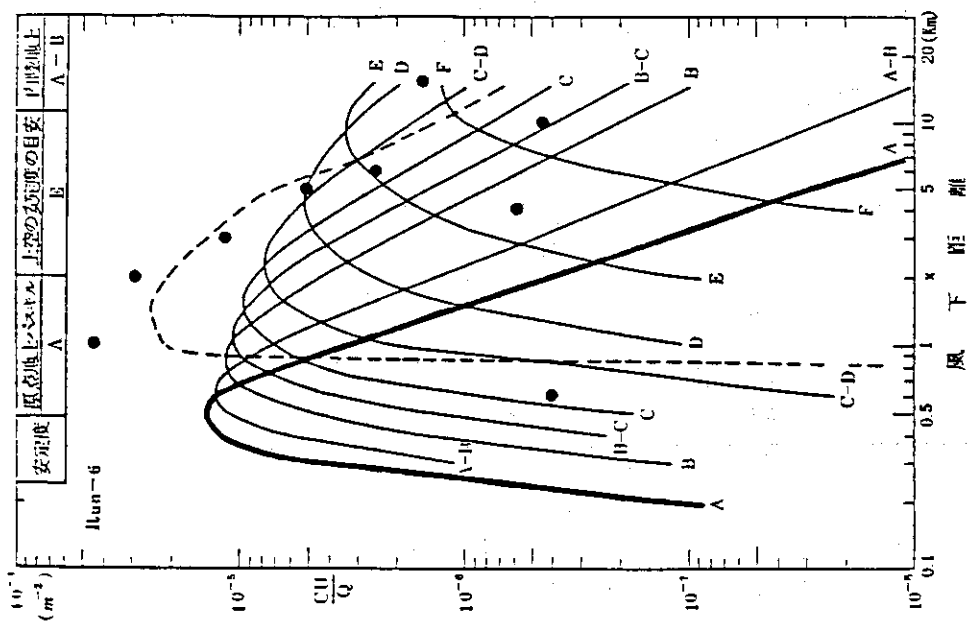
図 2.13 係留気球 A~E で測定された SF₆ 濃度の鉛直分布例



第2.14図 SF₆濃度の鉛直断面図A~Eは係留気球の位置，実線は濃度の等値線，破線は温位勾配から推定した内部境界層。日射量と地上風速から求めた地上付近の大気安定度階級はB，海岸上空150m高付近の温位勾配から求めた安定度階級はF(1981, RUN8)。

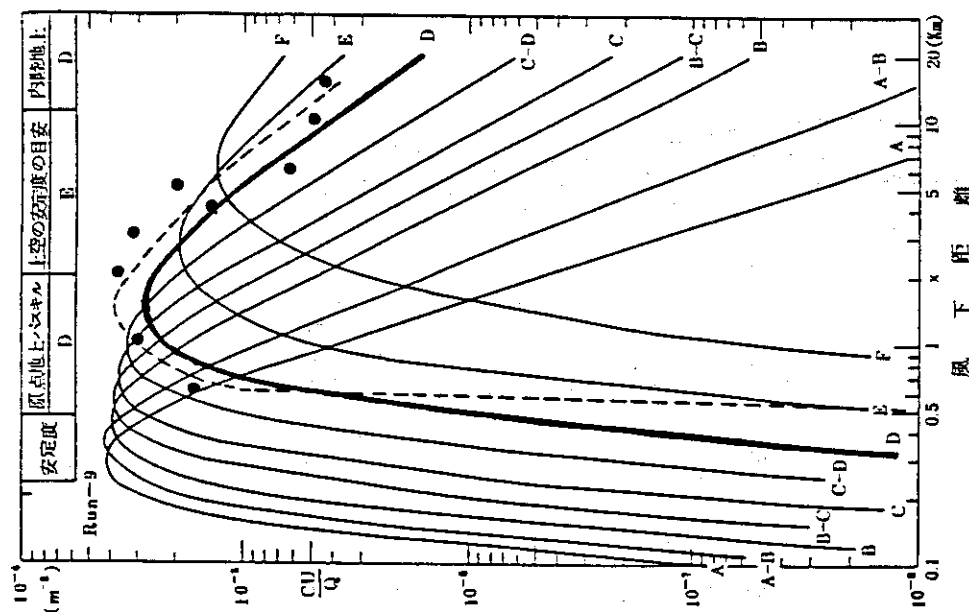


第2.15図 SF₆濃度の鉛直断面図A~Eは係留気球の位置，実線は濃度の等値線，破線は温位勾配から推定した内部境界層。日射量と地上風速から求めた地上付近の大気安定度階級はB，海岸上空150m高付近の温位勾配から求めた安定度階級はD(1981, RUN10)。



第2.16図 基準化した風下主軸上地上濃度分布の比較 (1983, RUN 6)

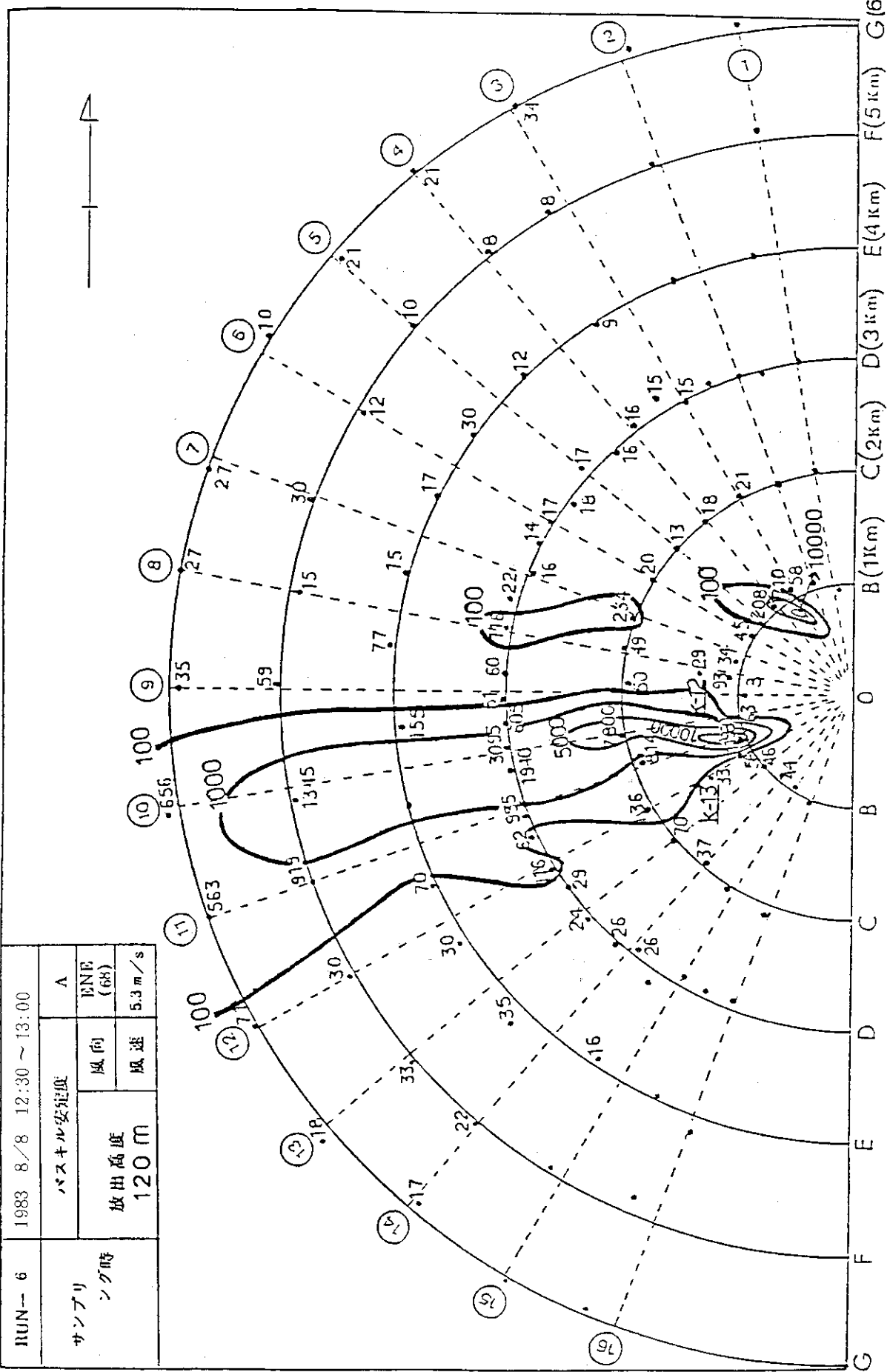
実線はガウスプルームモデル, 破線はフミゲーションモデル,
黒丸は実測値。放出高さは120 m。



第2.17図 基準化した風下主軸上地上濃度分布の比較 (1983, RUN 9)

実線はガウスプルームモデル, 破線はフミゲーションモデル,
黒丸は実測値。放出高さは60 m。

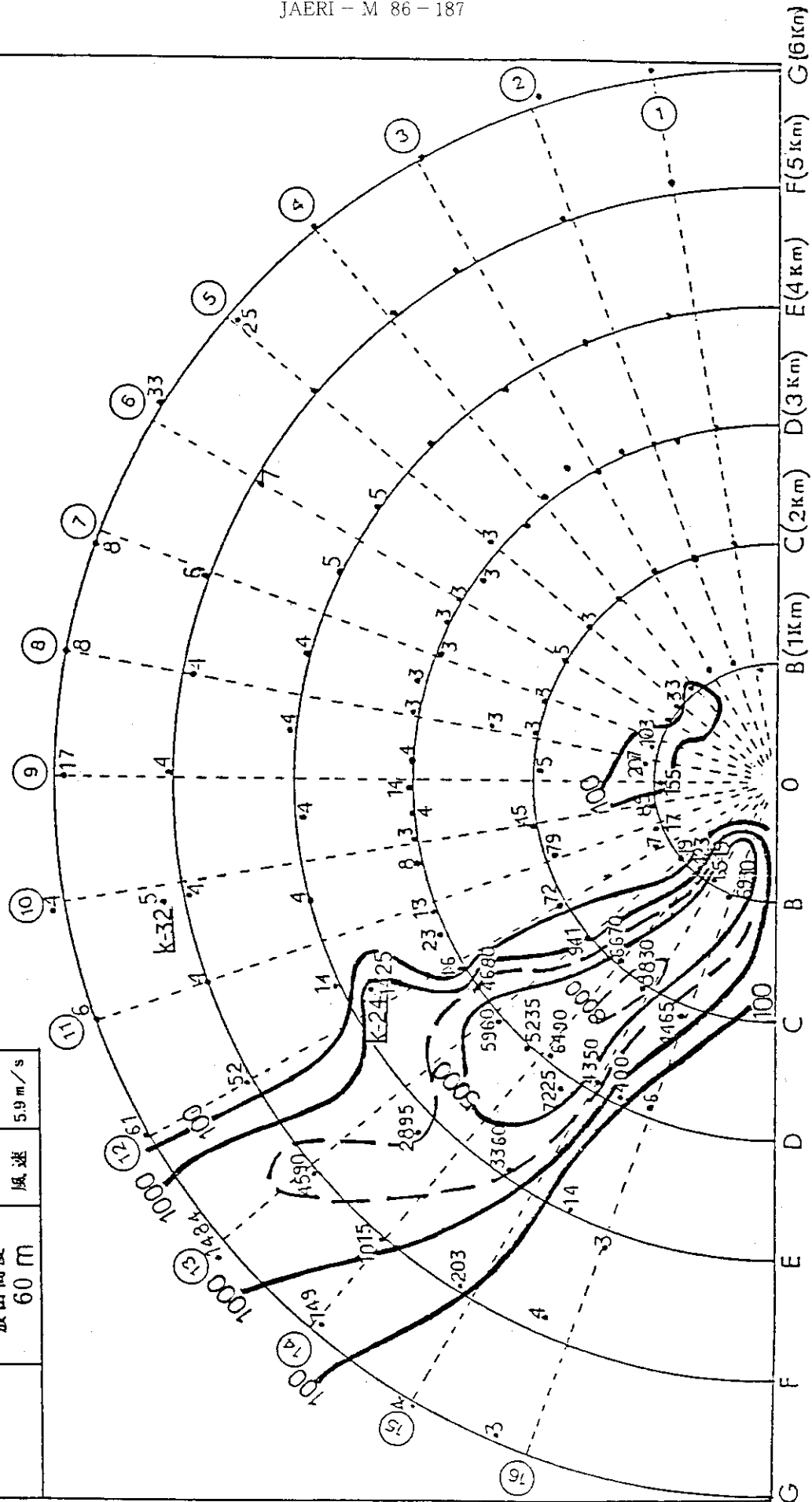
RUN-6	1983 8/8 12:30 ~ 13:00	
サンプリング時	バスキュル安定度	A
	風向	ENE (68)
	放出高度	120 m
	風速	5.3 m/s



第2.18図 点源放出拡散実験のSF₆の地上濃度分布例

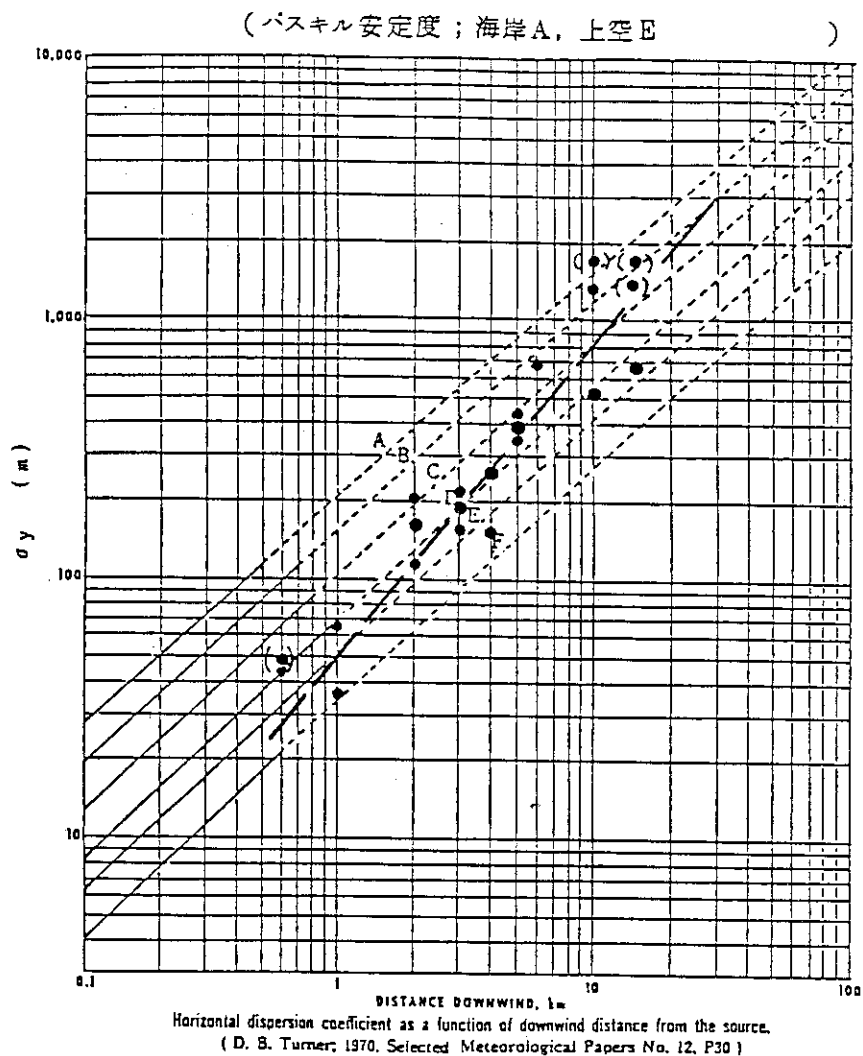
濃度の単位はppt, K-は鉛直分布測定地点。

IUN-9	1983 8/9 17:00 ~ 17:30	
サンブリング時	パスキル安定度	
	D	NE (38)
放出高度 60 m	風向	
	風速 5.9 m/s	

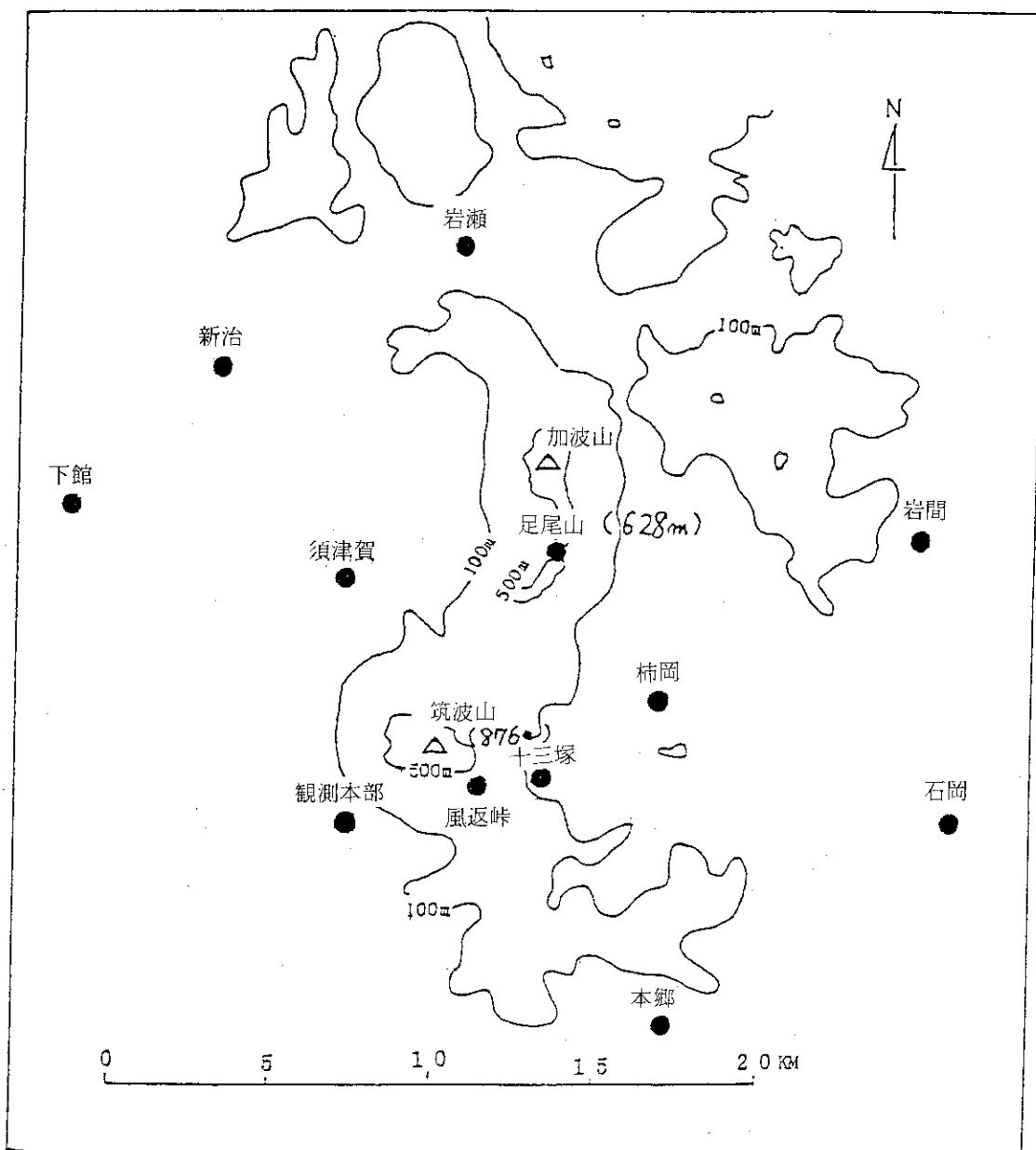


第2.19図 点源放出拡散実験のSF₆の地上濃度分布例

濃度の単位はppt, K-は鉛直分布測定地点。



第2.20図 バスキル・ギフォードの水平拡散幅（線図）と実測値の比較
 横軸は風下距離，縦軸は水平拡散幅，A～Eは大気安定度。黒丸は実測値から求めた
 水平拡散幅で，カッコを付したのは信頼度の低い値である。太い破線は実験結果にフ
 イットさせて引いた曲線である。



第2.21図 筑波山周辺の地形概要
黒丸は風向風速計の設置位置

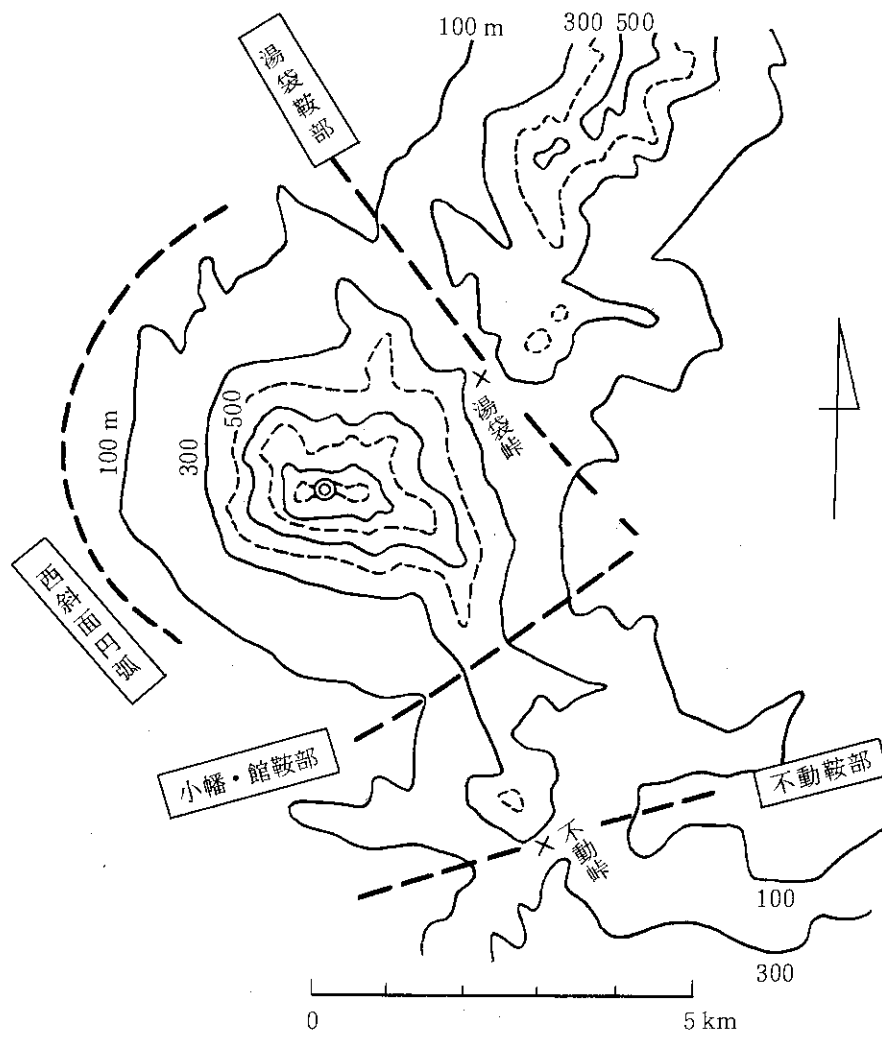


図 2.22 筑波山地形の特徴

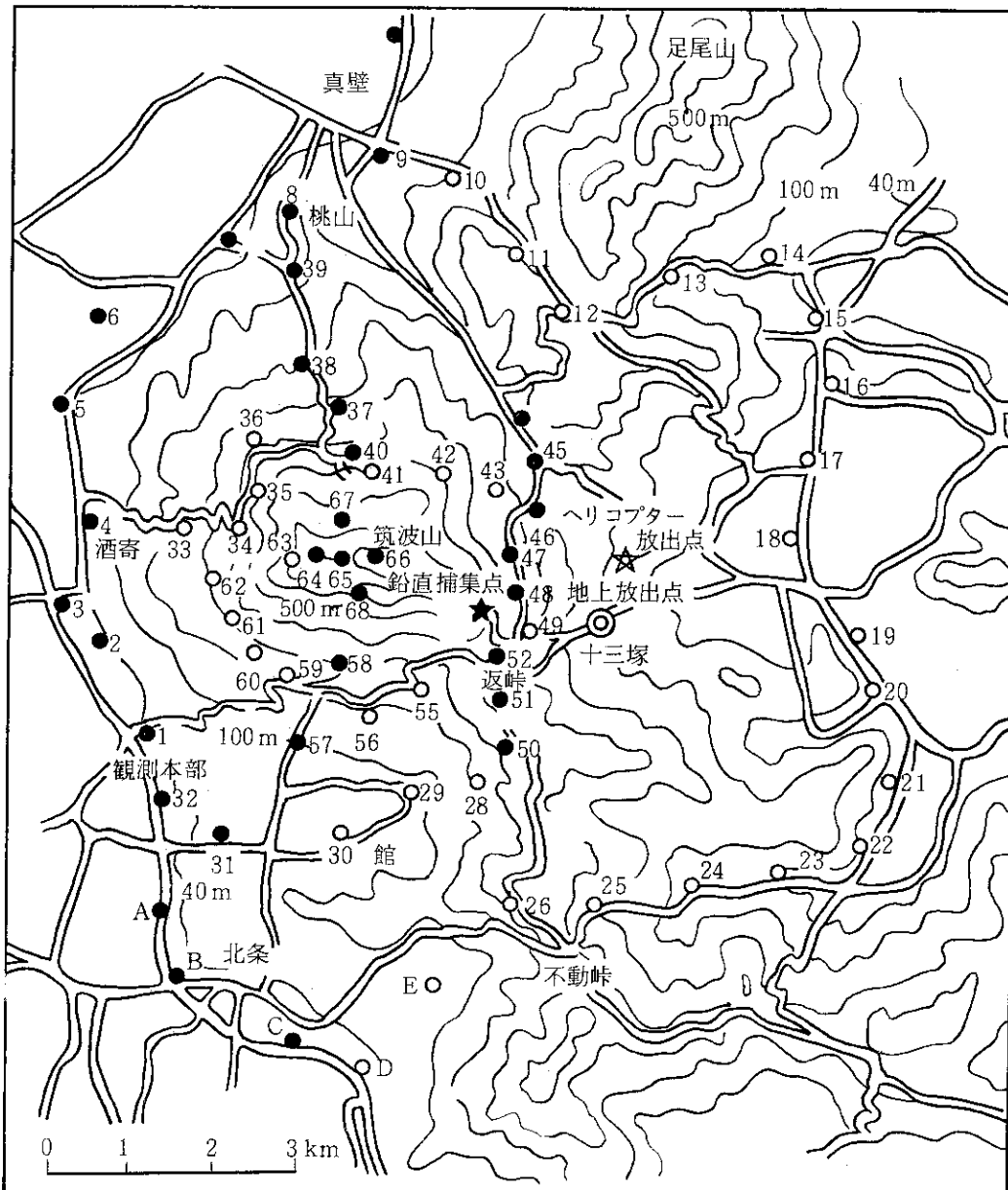


図 2.23 放出地点と捕集点の設定例 (東風モード)

◎は地上放出地点, ☆はヘリコプタ放出地点, ●は地上捕集点, ★は鉛直分布測定地点

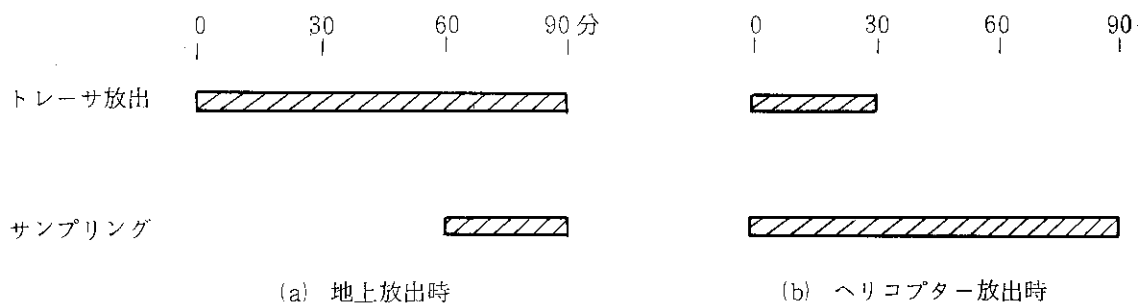
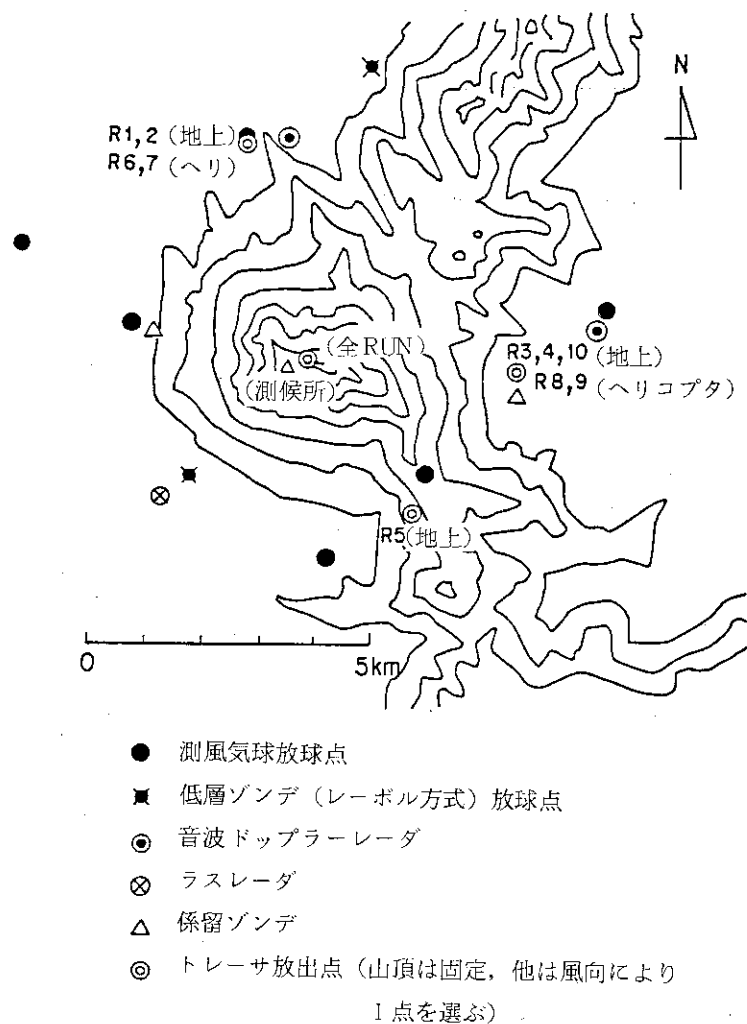


図 2.24 放出時間とサンプリング時間



第2.25図 上層気象観測点の配置例 (1984年)

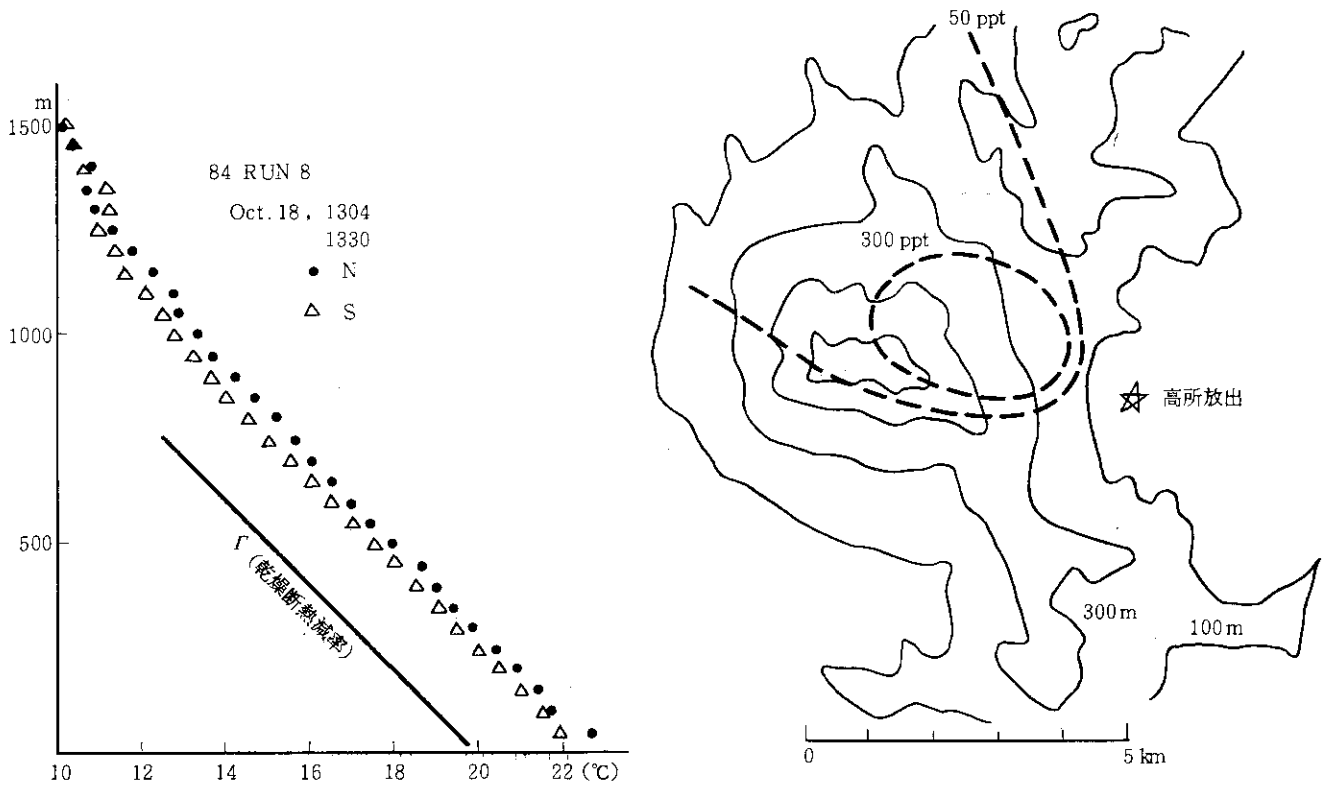


図 2.26 地上濃度分布の測定結果 (1984 年, RUN 8)

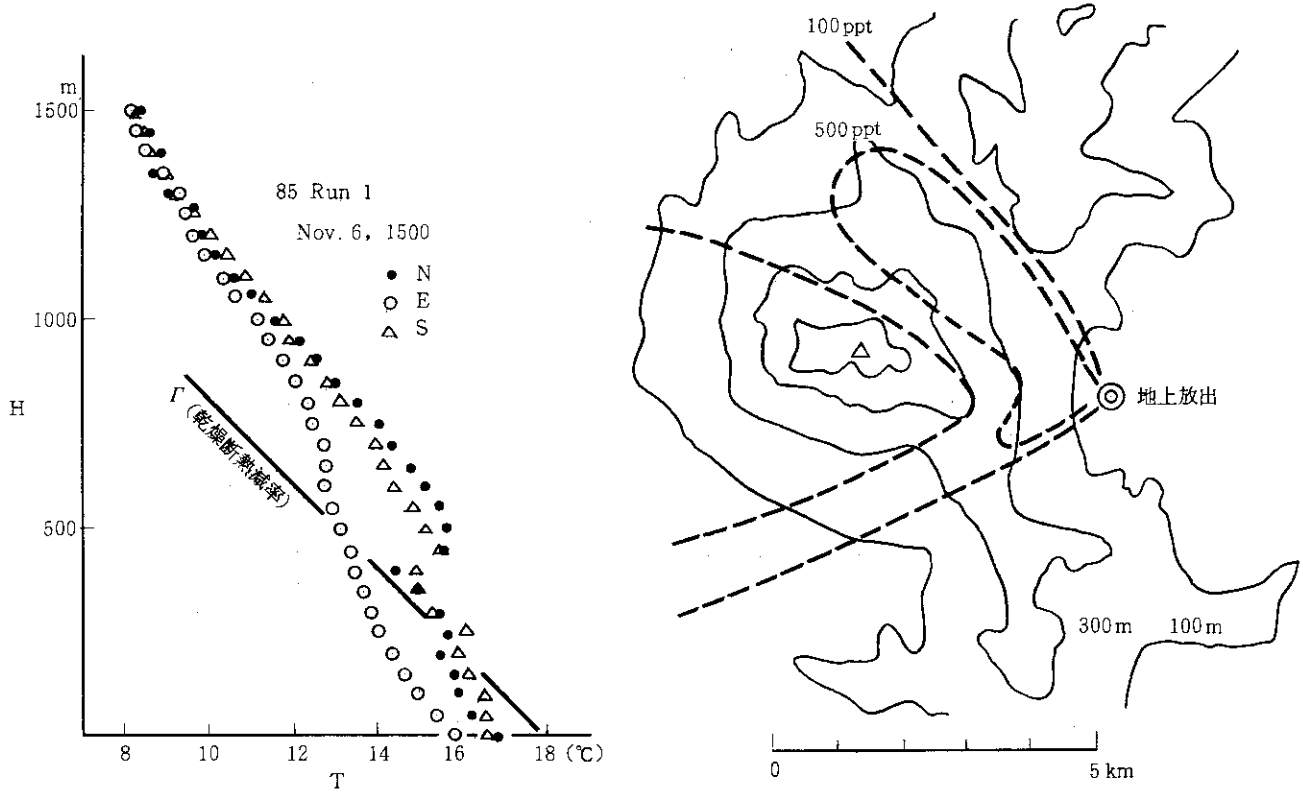


図 2.27 地上濃度分布の測定結果 (1985 年, RUN 1)

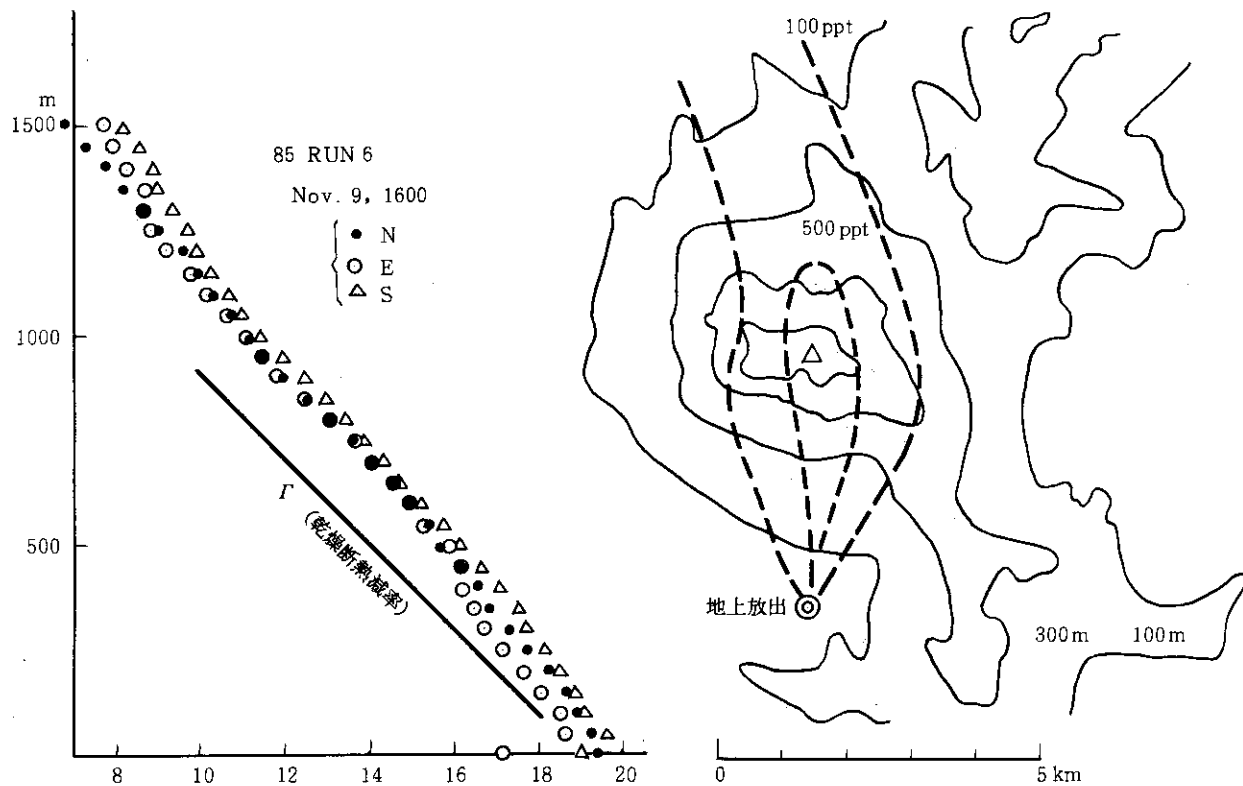


図 2.28 地上濃度分布の測定結果 (1985 年, RUN 6)

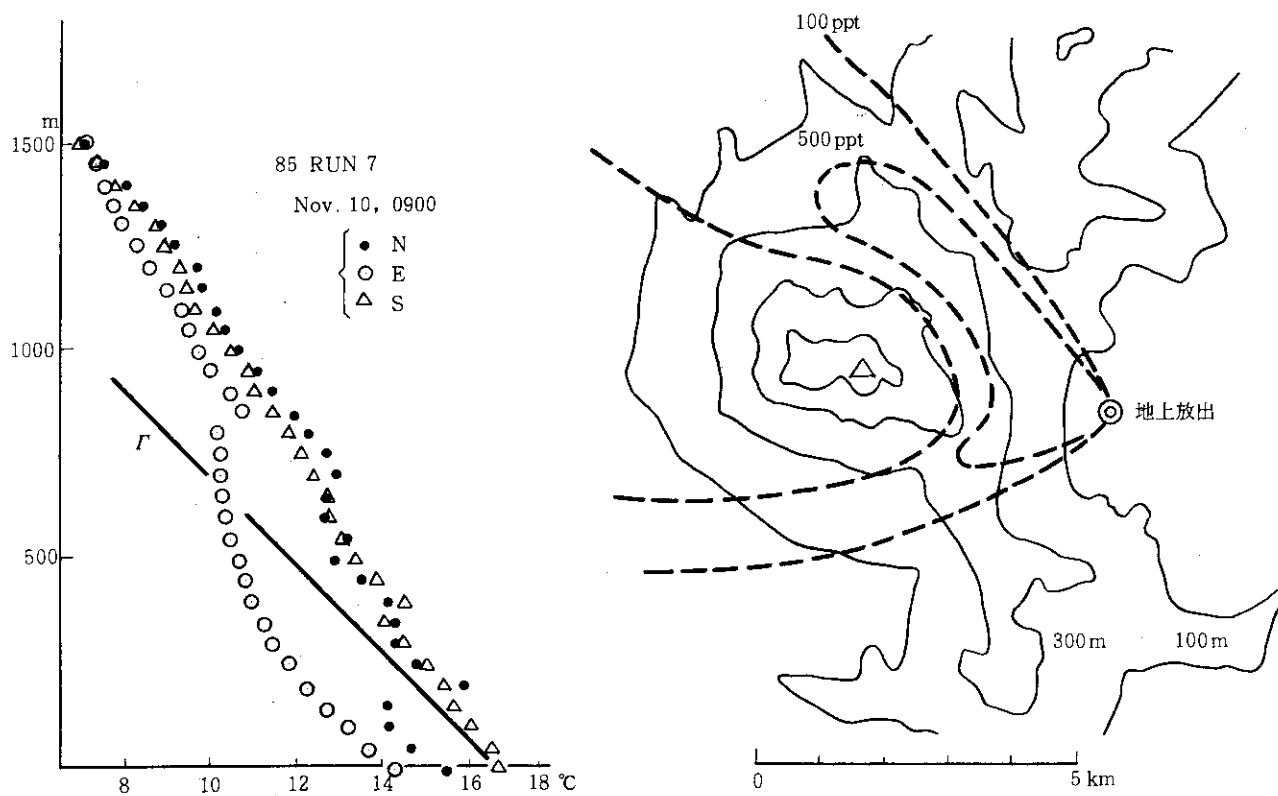


図 2.29 地上濃度分布の測定結果 (1985 年, RUN 7)

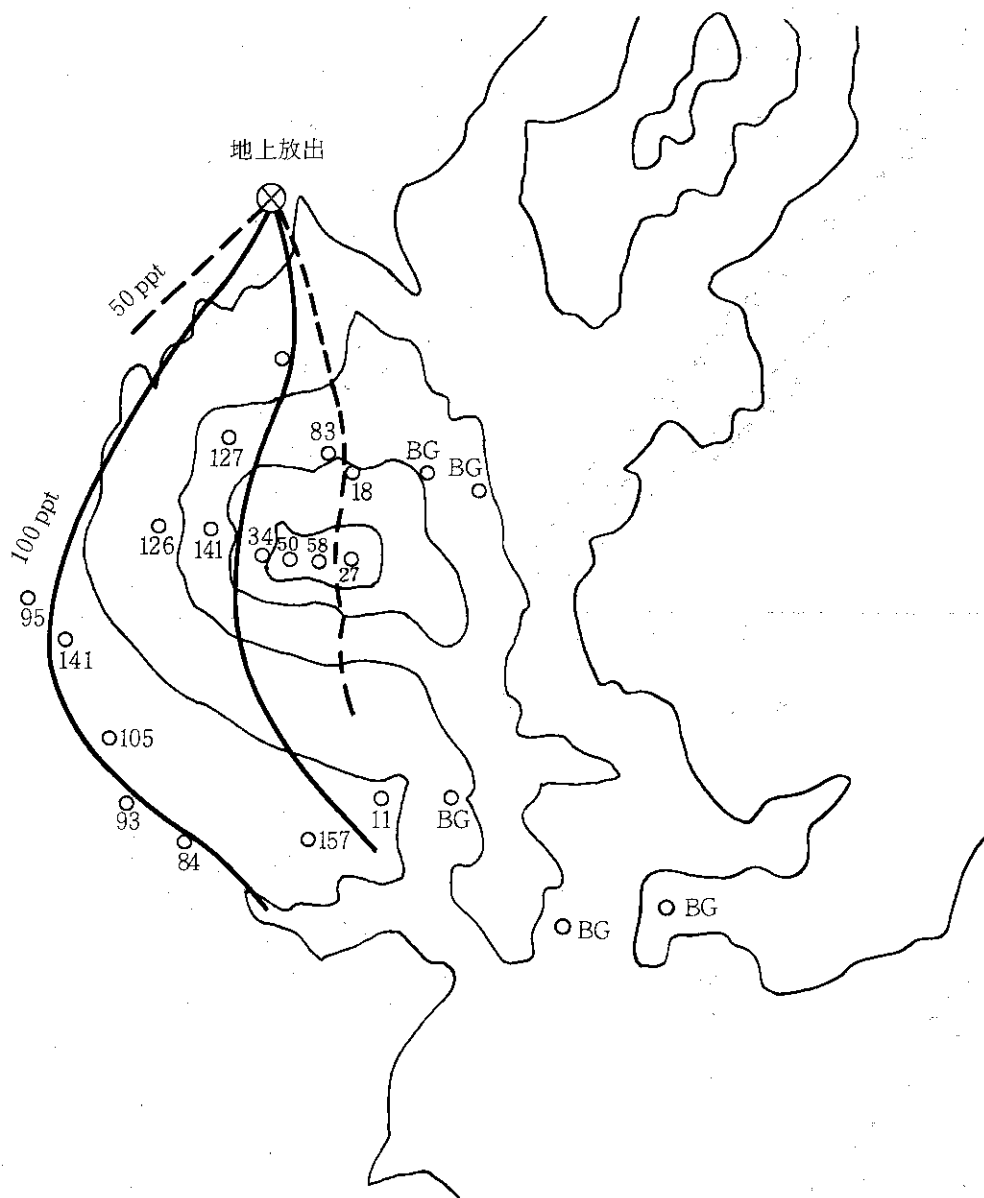


図 2.30 地上濃度分布の測定結果 (1984年, RUN 1)

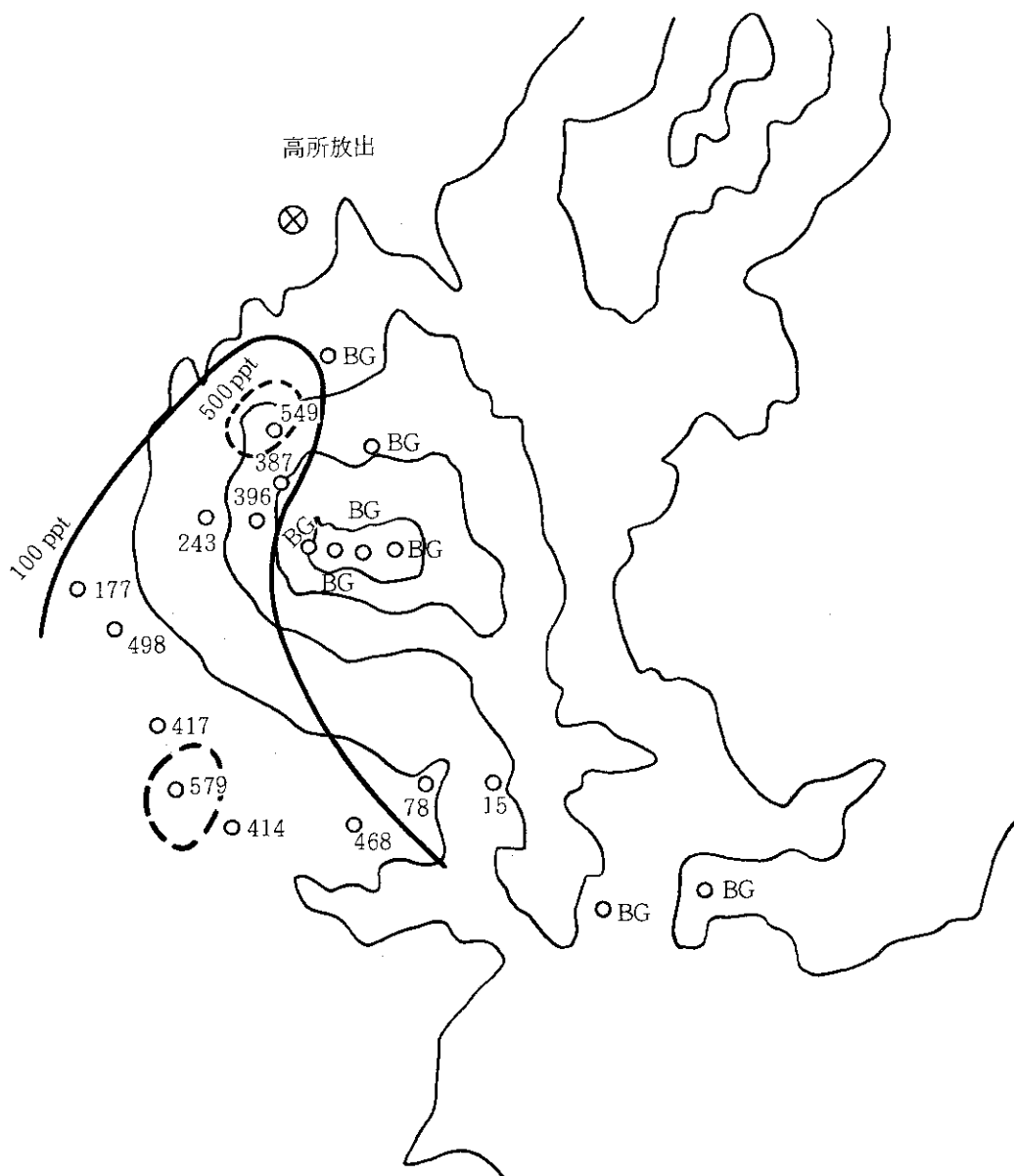


図 2.31 地上濃度分布の測定結果 (1984 年, RUN 6)

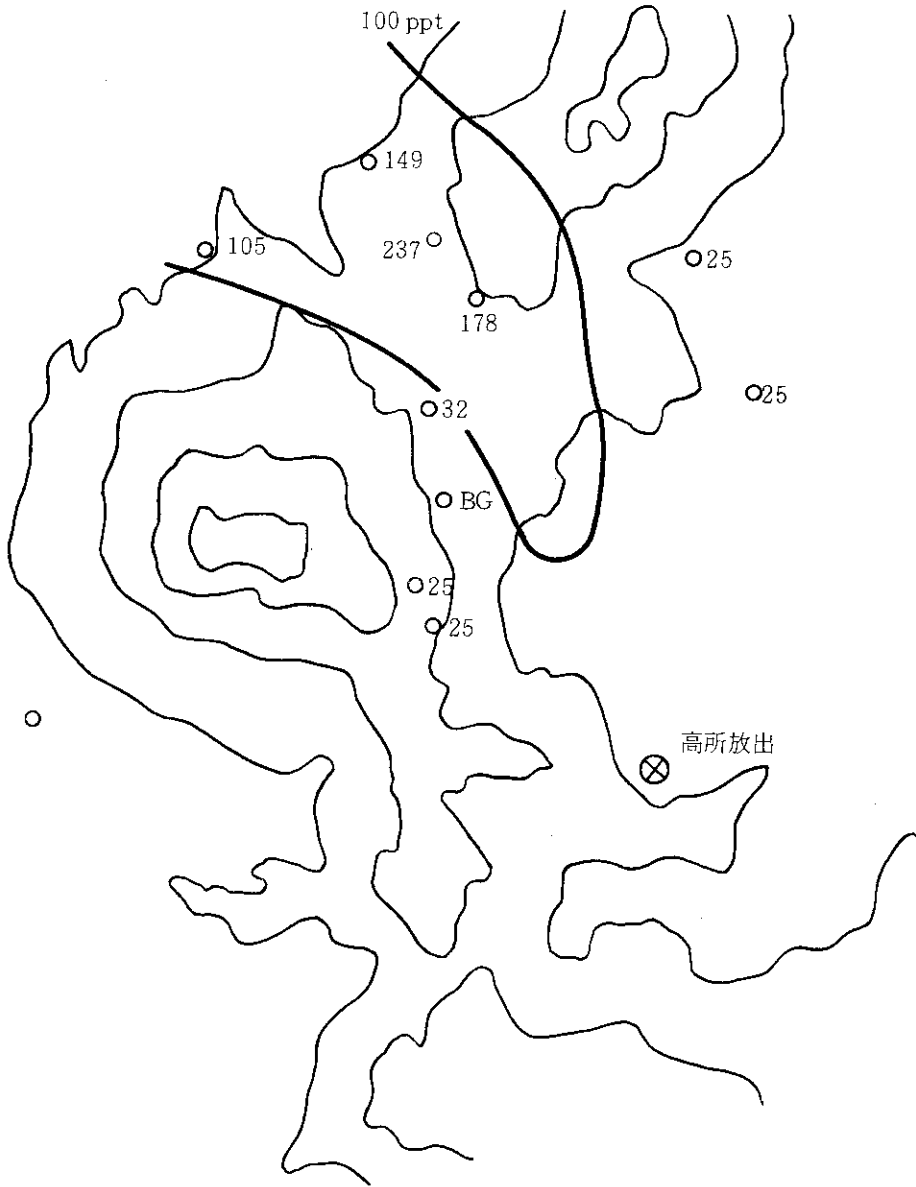


図 2.32 地上濃度分布の測定結果 (1985 年, RUN 6, 高所放出)

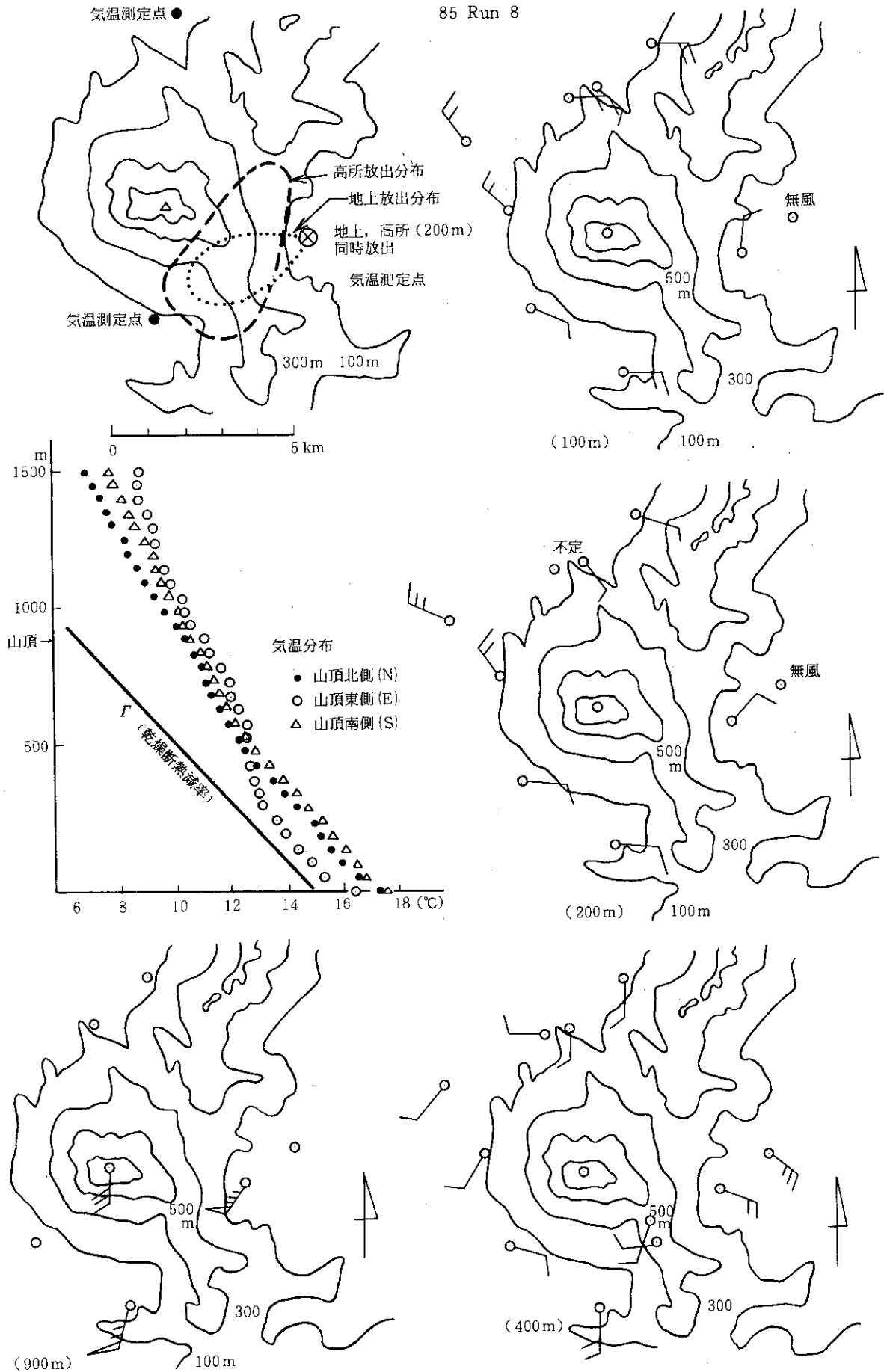


図 2.33 放出物の滞留が生じた時の濃度分布, 気温分布, 風速分布

85 Run 4

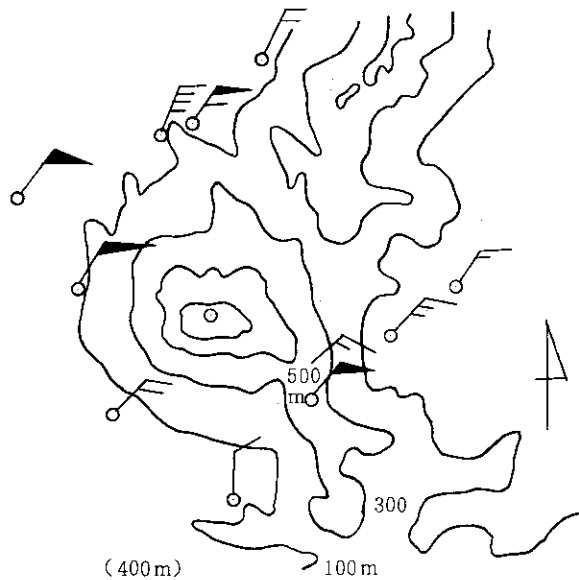
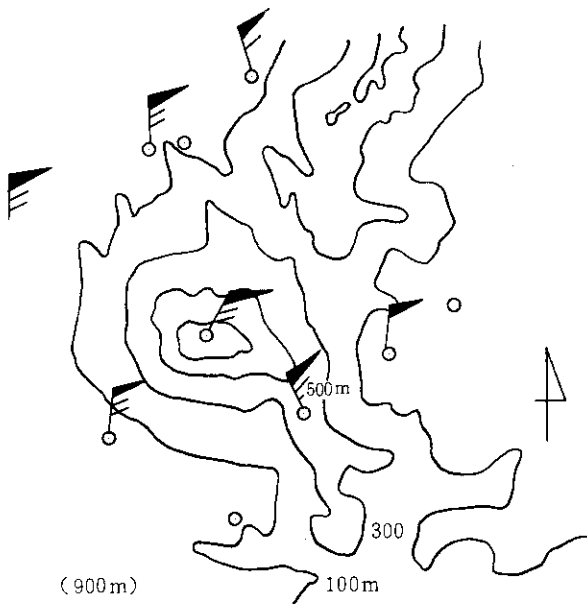
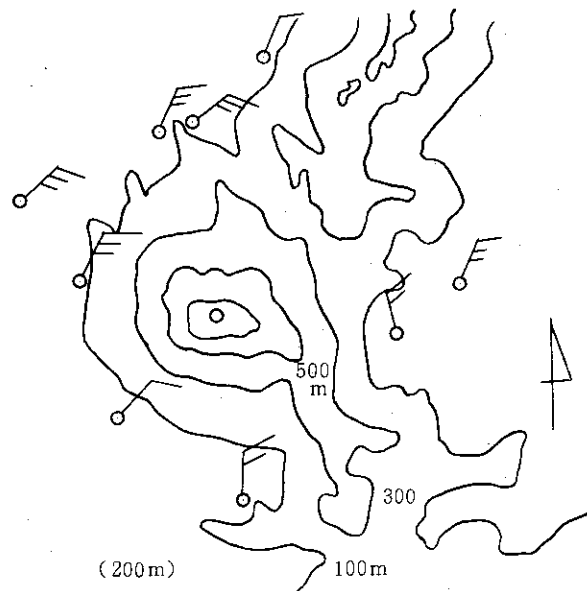
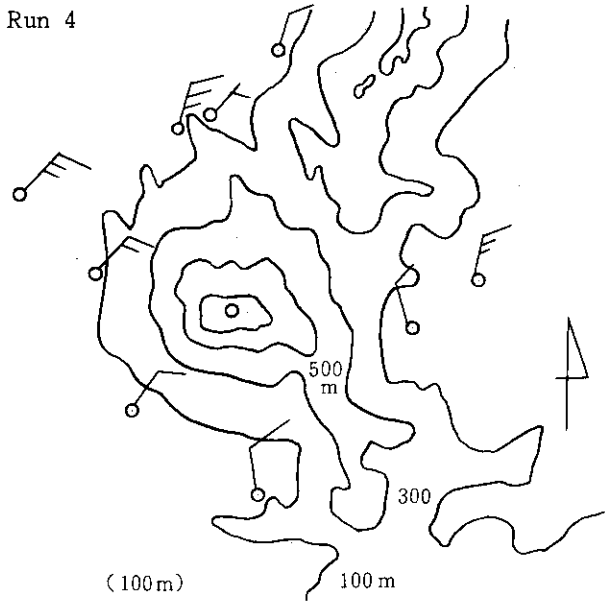
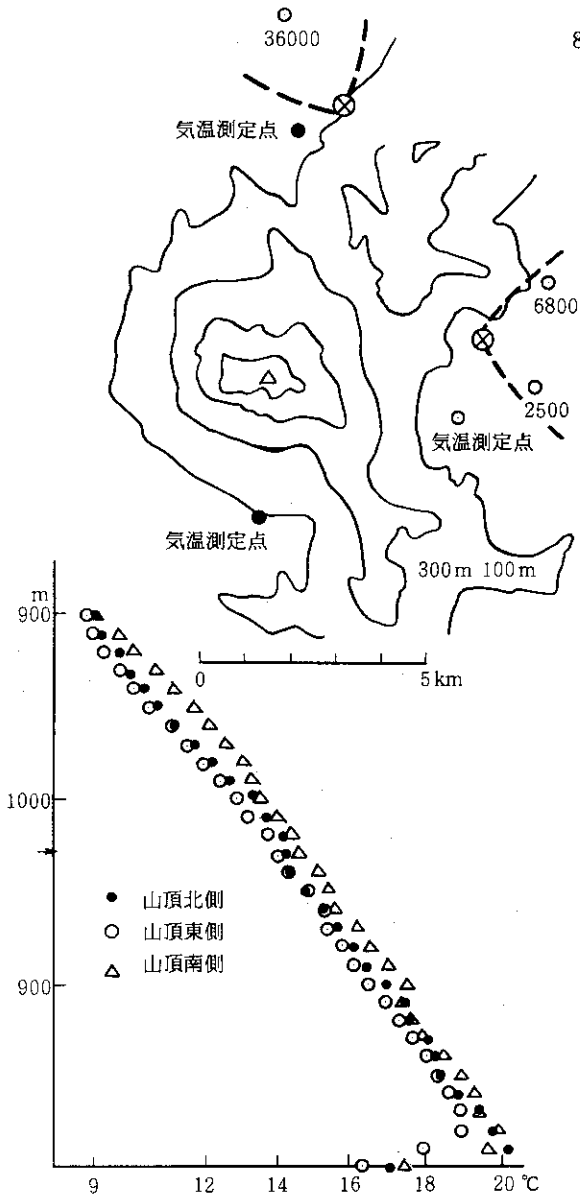
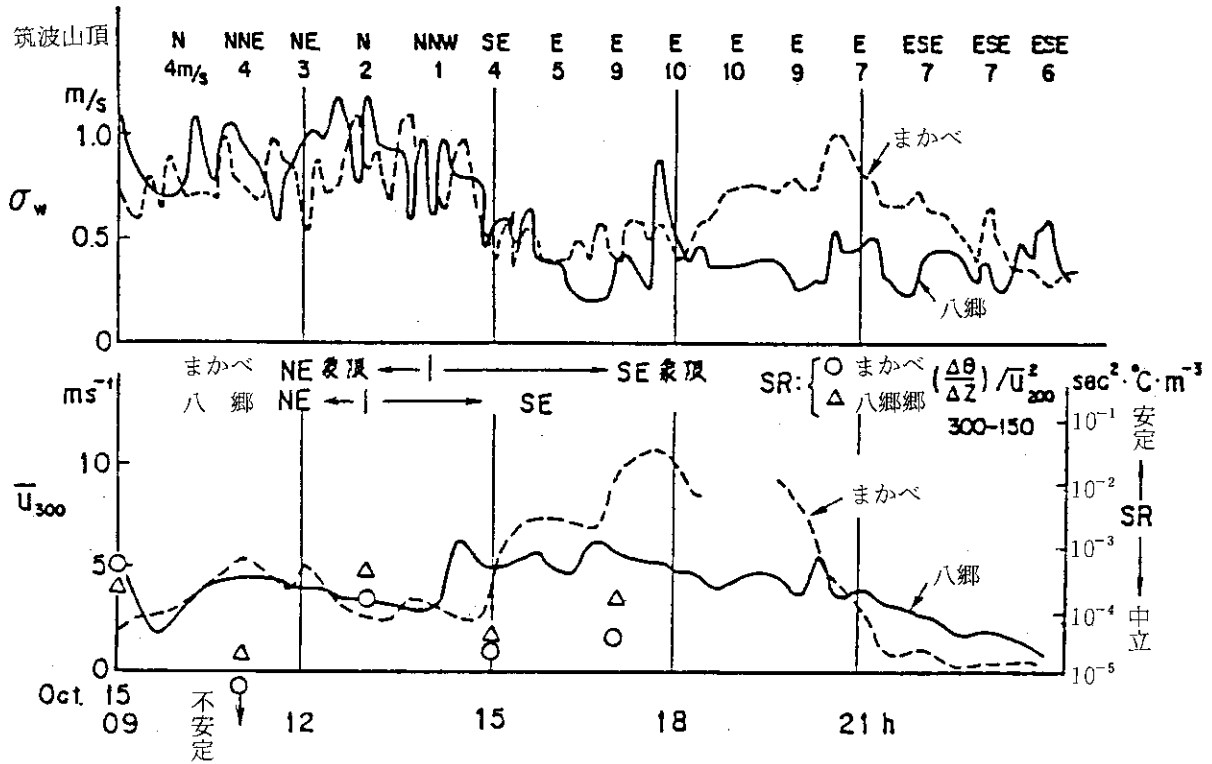
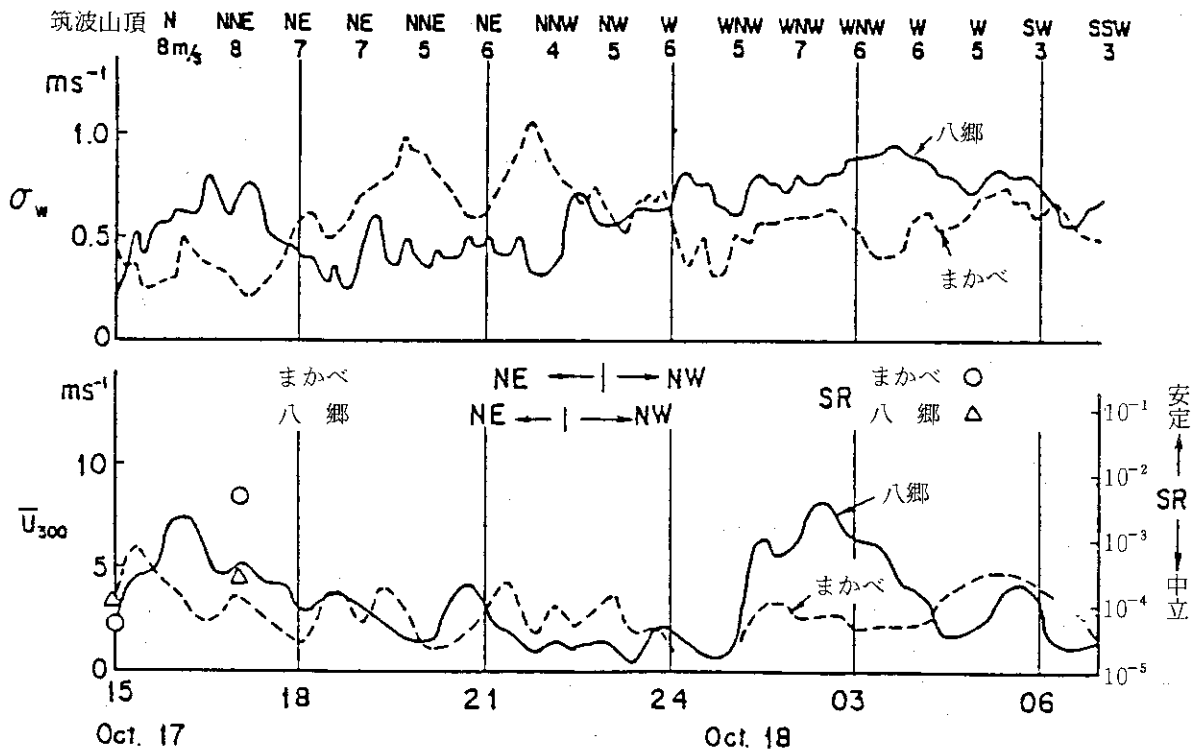


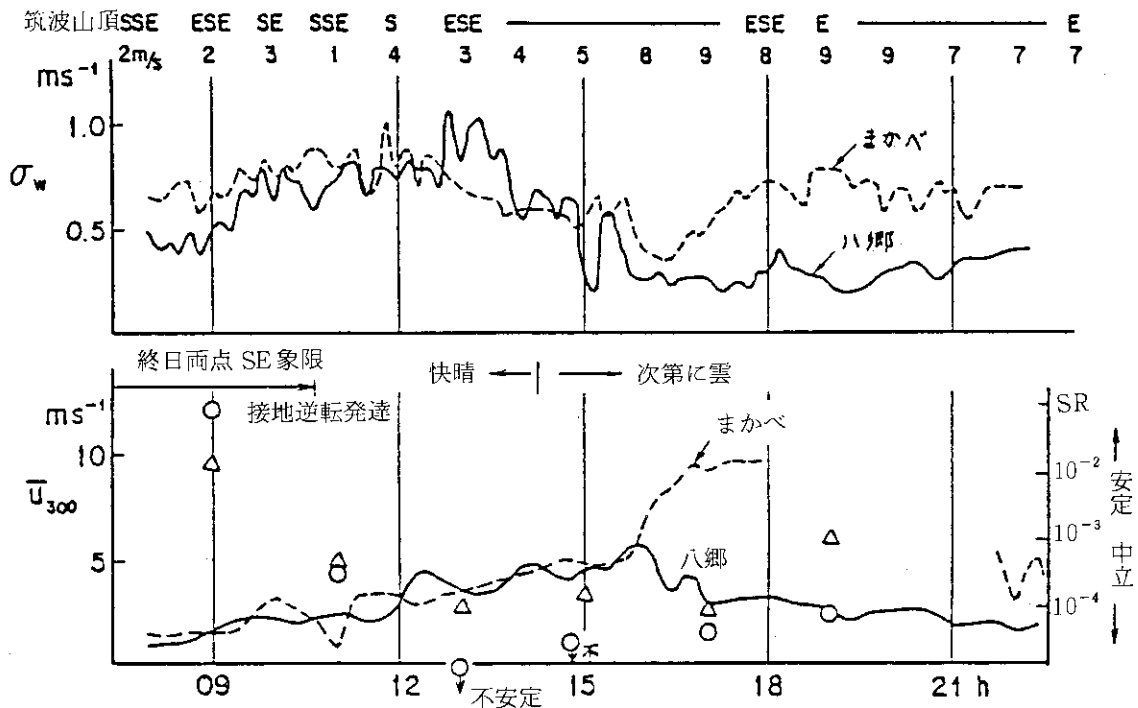
図 2.34 山岳下降流が生じた時の濃度分布, 気温分布, 風速分布



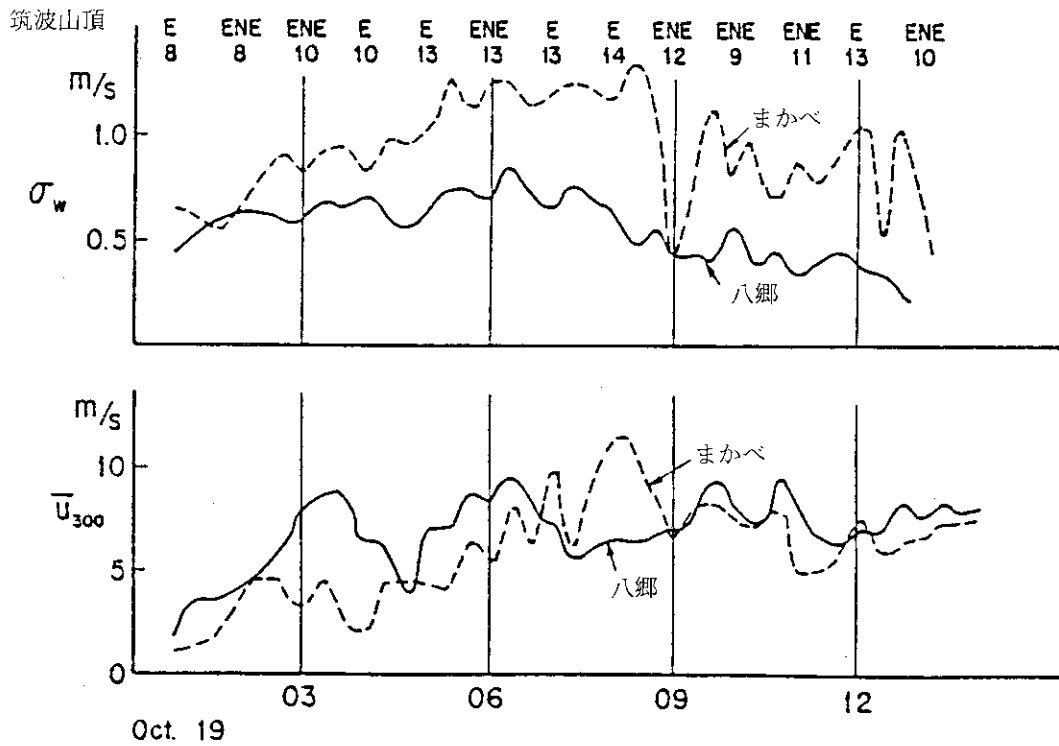
第2.35図 150 ~ 300 m層の鉛直風速変動 σ_w の経時変化 ('84.10.15, 晴, N→W)



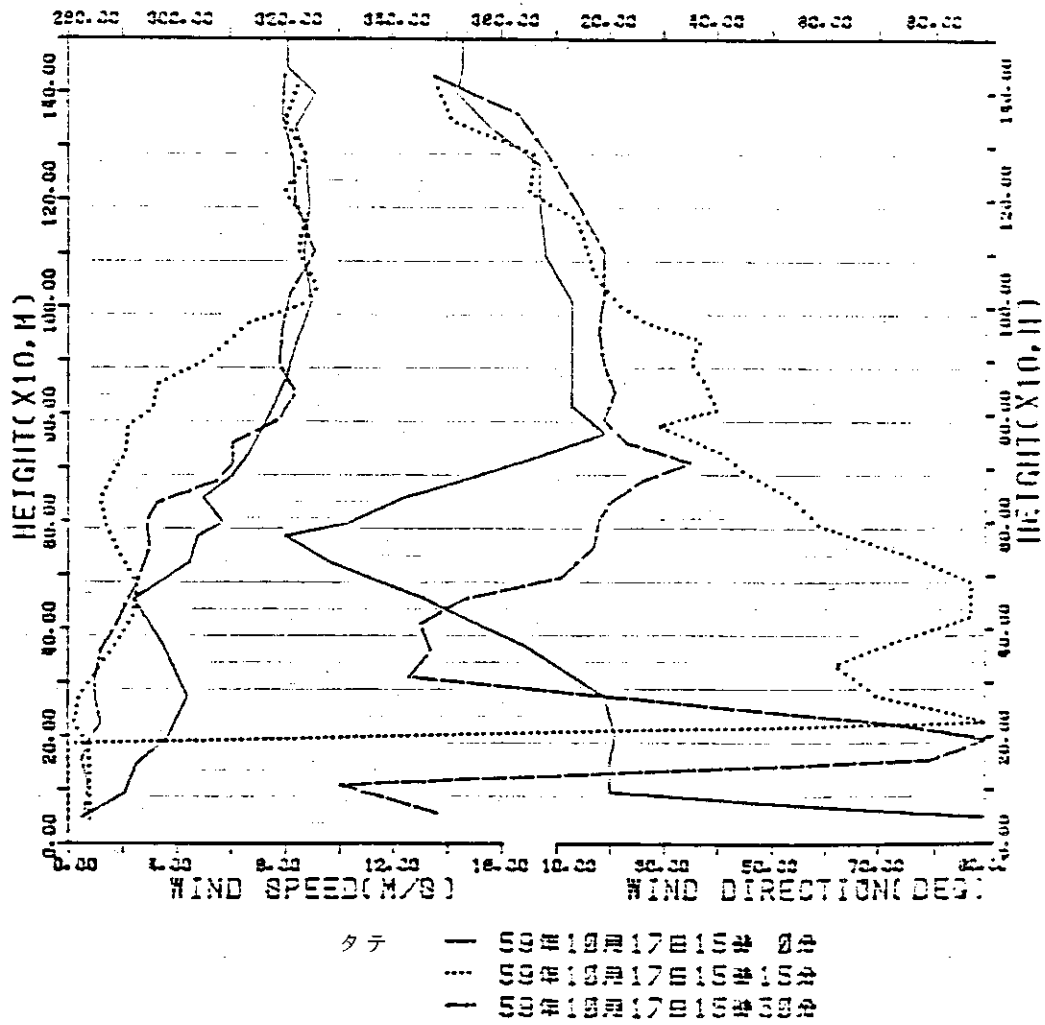
第2.36図 150 ~ 300 m層の鉛直風速変動 σ_w の経時変化 ('84.10.17, 曇→晴, NE→NW)



第2.37図 150～300 m層の鉛直風速変動 σ_w の経時変化 ('84.10.18, 快晴, SE)



第2.38図 150～300 m層の鉛直風速変動 σ_w の経時変化 ('84.10.19, 雨, E強風)



第2.39図 連続して放球した3回の測風気球による上層風観測結果

3. レーダ電波反射物体による拡散実験

吉川友章^{*}, 栗田 進^{*}, 里村雄彦^{*}

要 旨

放射性物質拡散の即時予測モデルを検証する手段として、飛行機からレーダ電波反射物体（チャフ）をまき、適当な位置に配置した2台のドップラー・レーダで追跡、測定する手法を開発した。この方法によれば、時々刻々の気流と拡散状況を3次元でリアルタイムに把握することができ、一定時間内の平均地表濃度しか得られないガス・トレーサによる拡散実験を補完して、多くの情報を得ることができる。

3.1 測定の基礎概念

最近、複数のドップラー・レーダを使った台風、積乱雲に伴う雨雲の研究が発展し、気象研究所でもCバンド（波長5.3 cm）とXバンド（波長3.0 cm）のドップラー・レーダを同時に用いて、雨滴の動きをベクトル解析することにより、気流を立体的に測定する研究が行われている。そこで今回のプロジェクトでは、この手法を大気境界層内の気流分布や大気汚染物質の拡散パラメータの検証測定に利用することを試みた。ただし、3～5 cm波のレーダでは、雨滴のない大気からの反射はほとんど測定できないため、この波長の電波を反射しやすい物体（チャフ）を特注して、航空機から散布した。

チャフは非常に細いガラス繊維にアルミニウムを蒸着したもので、長さは5 cmのレーダ電波の半波長2.5 cmとした。150 gをタバコ2箱分くらいの箱につめ、1点分の投下ユニットとした。重さは繊維一本が5 μ gで、室内で行った無風条件での落下速度の測定では、第3.1図に示すように、17～22 cm/secの例が多い。散布後、十分に拡散した時のチャフの空間密度は、一辺25 m位の立方体空間に一本位と推定され、肉眼では見えない。また、1000 m上空に散布すると、地上に到達するのに約二時間かかり、風速5 m/secでは30～50 km流され、拡散効果が加わると、地上に落下する前に、レーダの検出限界以下の分布密度になることが多い。

測定は第3.2図のように、20～30 km離れて配置した二台のドップラー・レーダを同期して、対象領域内に散布したチャフの移流拡散を見越した角度で、定角スキャンを行う。ドップラー・レーダは付属の計算機で制御されるため、スキャンされる水平角度、仰角のきざみ等はすべてプログラムのインプットとして、任意に設定される。対象空間の全域を1回スキャンするのに、水平角度60度、仰角を1度きざみに1度から6度まで上げたときの例では、約3分を要した。従って3分に1回位の割りで、対象空間内の全メッシュの電波反射強度とレーダ・ビームの向きのチャフの移動速度が測定される。メッシュの大きさはレーダの分解能によって決り、水平及び鉛直

* 気象研究所応用気象研究部

サイズはレーダのビーム幅とレーダからの距離に関係して、20 km位では約300 mである。レーダ・ビームの向きのメッシュ・サイズは、レーダからの距離に関係なくパルス長で決り、気象研のレーダでは約100 mである。従ってチャフの存在する空間では、300 m × 300 m × 100 m程のメッシュ全てについて、レーダに近づくあるいは遠ざかる速さと電波反射強度がわかる。これらのデータは全てMTに自動収録され、のちに大型計算機によりベクトル解析して、チャフの水平移動速度が求められる。また連続方程式を用いて、鉛直ベクトルも計算される。

3.2 測定・解析の実例

第3.3図に1984年10月、日本原子力研究所が行ったSF₆ガスをトレーサーとした拡散実験に協力して、筑波山地域で行ったレーダ電波反射物体による拡散実験の状況を示す。筑波山域を越える流跡と拡散パラメータを知るため、チャフは風向・風速を考慮して、筑波山の風上側の適当な位置に飛行機から散布された。図中、Run 1-Run 3の黒丸は1パックずつ点状に投下した場合、Run 4の二重線は高度を変えて、各線に40パックずつを連続投下した場合を意味する。各フライト・コースにつけた矢印は主風向で、Run 4の場合は上空がSW、下層がSEの風が吹いていた。

第3.4図はRun 3のチャフを気象研側のレーダで追跡した映像で、一般風がN、気層は安定条件であった。図はエコーの外側輪郭を10分間隔で抽出したもので、内側では反射強度に応じた等値線が描かれるが、ここでは繁雑を避けるために省略した。細かい等値線は筑波山塊の300 m以上、200 m間隔の海拔高度を示す。平坦地上を流れるチャフはほとんど等速で、主に風向方向に拡がるのに対し、山地を越えるチャフは鞍部で細長くなったり、山かげで横に拡がったりする。

第3.5図はRun 4の連続放出した2例のチャフのうち、筑波山側のエコーの等反射強度を示す。レーダ・ディスプレイでは強度別に色分けして表示される。筑波山塊の反射もレーダに面した斜面の傾斜に対応して、反射強度の分布が表示されるが、地形はドップラー効果により移動しないことが識別されるため、チャフとは色を区別して表示している。チャフの反射強度とチャフ密度あるいはガス・トレーサ濃度との対応は、まだ量的評価はできないが、今後データを蓄積して、理論及び実験の両面から、換算する根拠を導くこととしたい。

第3.6図は2点のレーダのドップラー解析により合成した投下30分後における800 m高度のチャフ移動ベクトルである。ほとんど風ベクトルと対応しているとみてよい。ただしこのままでは繁雑すぎるため、数値計算メッシュに合わせて、もう少し大きい空間の平均ベクトルを求める等、適当な平滑処理が必要である。この実測ベクトルに対応して、数値計算で求めた気流場は、モニタリング・予備専門部会研究成果報告書⁽¹⁾に収録されている。一方、全メッシュのチャフの移動ベクトルから、池、裸地、森等に関係してできる微細な気象現象の構造を知る事も可能で、気象研究所応用気象研究部第3研究室の経常研究テーマとして、今後研究されることになっている。

第3.7図は第3.5図に対応する時刻のガストレーサーの拡散を仮定して、数値計算された相対濃度分布を示す。第3.6図のチャフは落下効果や局地対流の影響で団塊状になっているが、計

算では団塊が連なった形になっている。濃度を適当な値で打ち切れば団塊状になるが、水平拡散係数を一律に $100 \text{ m}^2/\text{sec}$ としたため、800 m 高度では拡散がやや過大に評価されて、団塊が連なった可能性もある。

第 3.8 図は、1984 年 10 月の実験から、南風、中立条件の時、筑波山の南側に投下したチャフの 10 分間隔の映像輪郭と、その面積変化率から試算したいわゆる水平拡散係数を示す。ただしこの値は移流の際の収束、発散効果も含むため、乱流拡散のみを表わしているわけではない。左端のチャフは山地を越えるとき値が小さく、風下で大きくなるのが認められる。

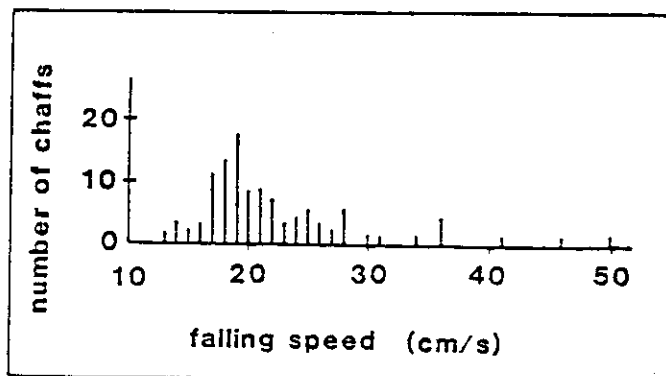
さらに第 3.9 図は、第 3.8 図の左から 4 番目のチャフ映像を選び、各時刻段階での南北方向の高度断面を示したものである。上空と下層の風速差のため、散布直後からチャフの上部が先に風下に流れ、山地では後部がちぎれてとり残される例も見られる。映像の上に示された数字は、第 3.8 図と同様に面積変化率で求めた鉛直拡散計数の相対値である。山にさしかかるときは厚さが増し、鞍部で風向方向に伸びるとき薄くなる傾向が見られる。

3.3 まとめ

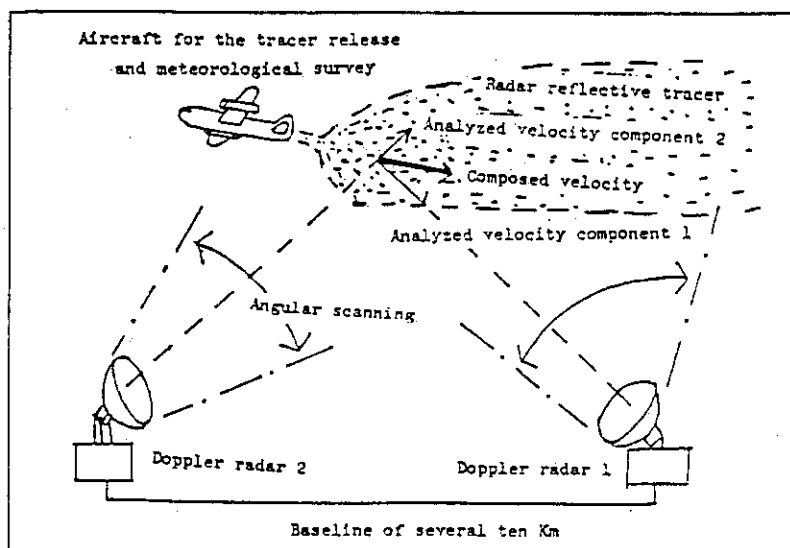
このほか多くのチャフの拡散実験の解析から、この手法が 3 次元の移流・拡散をリアルタイムで目視化できる画期的な手法であることが確認された。1 点のドップラー・レーダでも、映像を地形と区別して追跡できることから、反射強度とともに、気塊の流跡やおおまかな気流分布が得られる。原子力サイト近くの適当な位置に、100 km レイレンジ程度の小型ドップラー・レーダを配置できれば、平素は雨や雪の測定や予測モデルの検証に使い、緊急時には放射性物質の放出に比例してチャフを自動放出する装置を用意しておけば、移流・拡散の現況把握に使うことも考えられる。今後、多量のレーダの映像データを処理、解析するため、専用の画像解析装置を開発することも計画されており、反射強度の変動から拡散パラメータを求める等、多くの新しい情報が得られる可能性がある。

参考文献

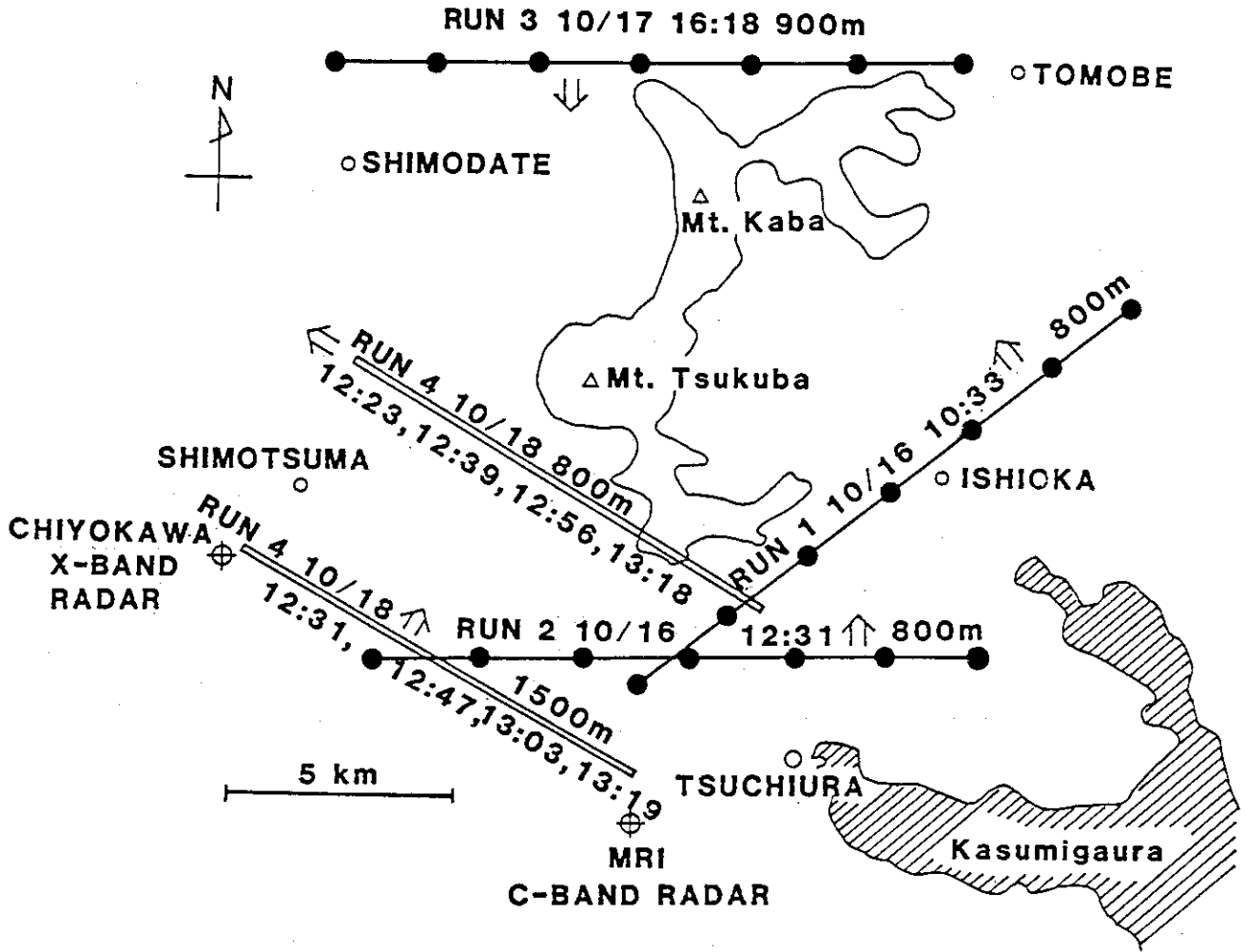
- (1) 環境放射能研究委員会、緊急時モニタリング・予測専門部会；緊急時モニタリングと予測計算のための手法並びにシステムの開発、JAERI - M 86-111 (1986)



第 3.1 図 チャフの落下速度の測定結果

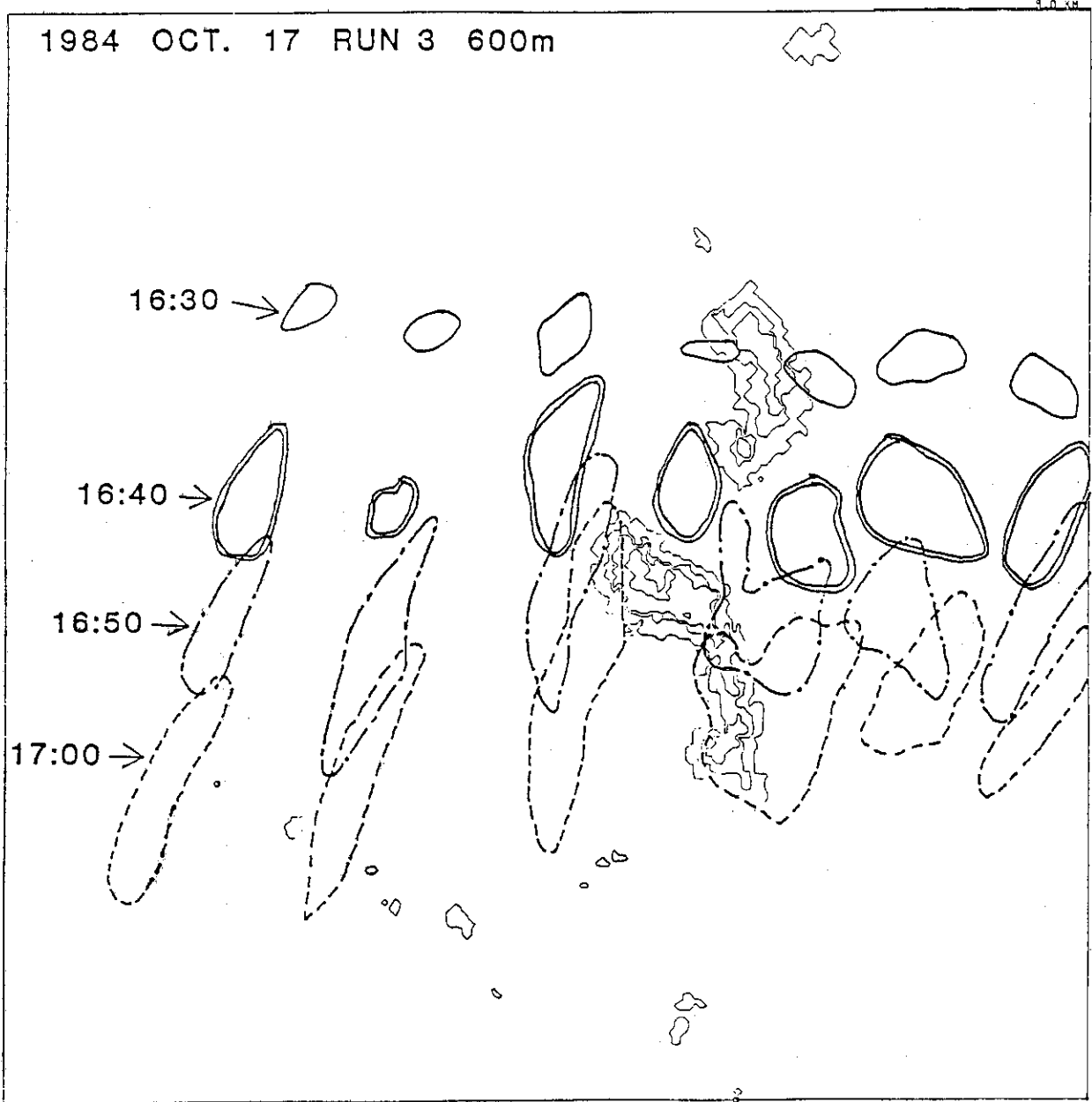


第 3.2 図 レーダ電波反射物体をトレーサとした拡散実験の概念

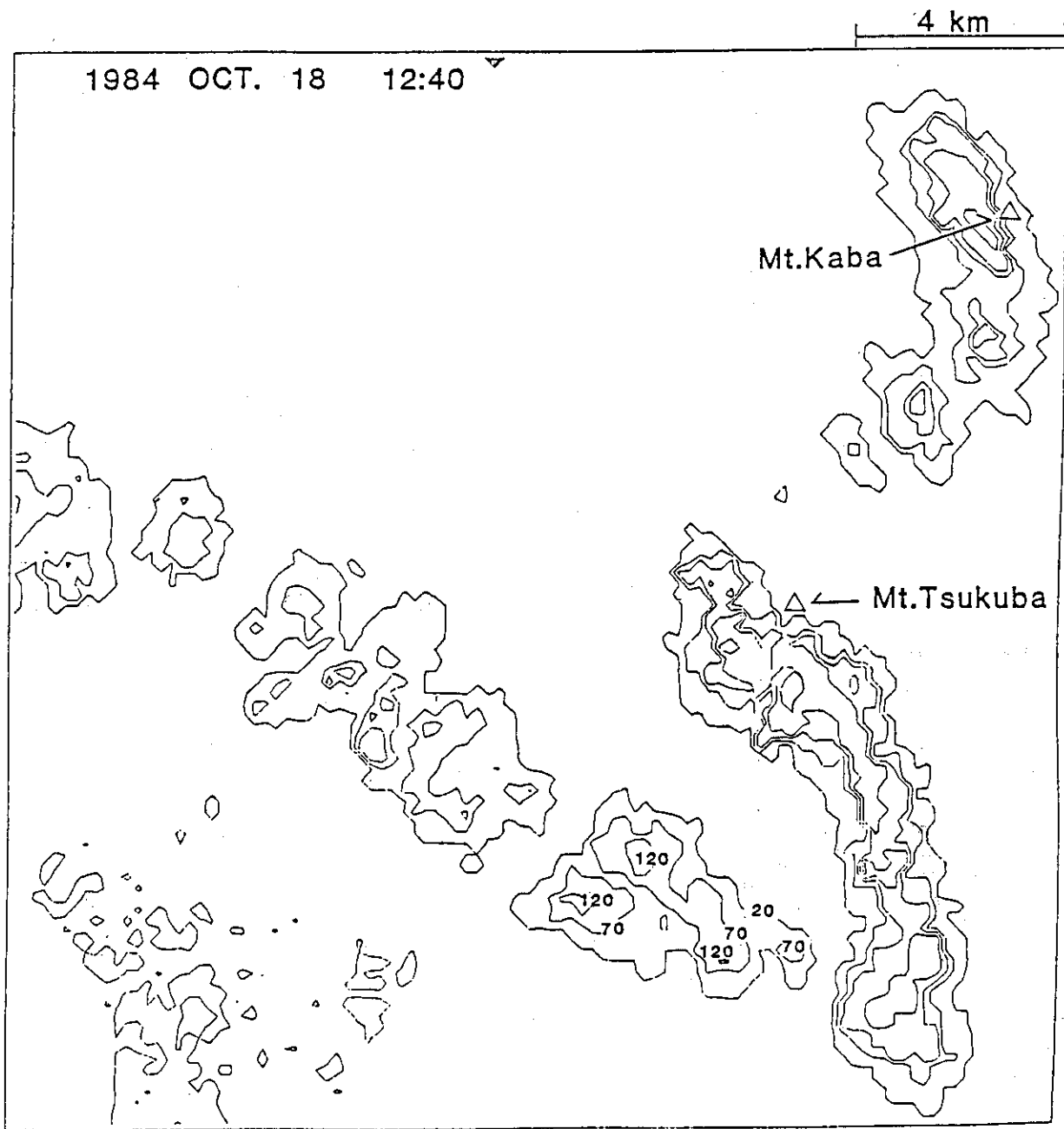


第3.3図 レーダ・サイトとチャフの投下状況

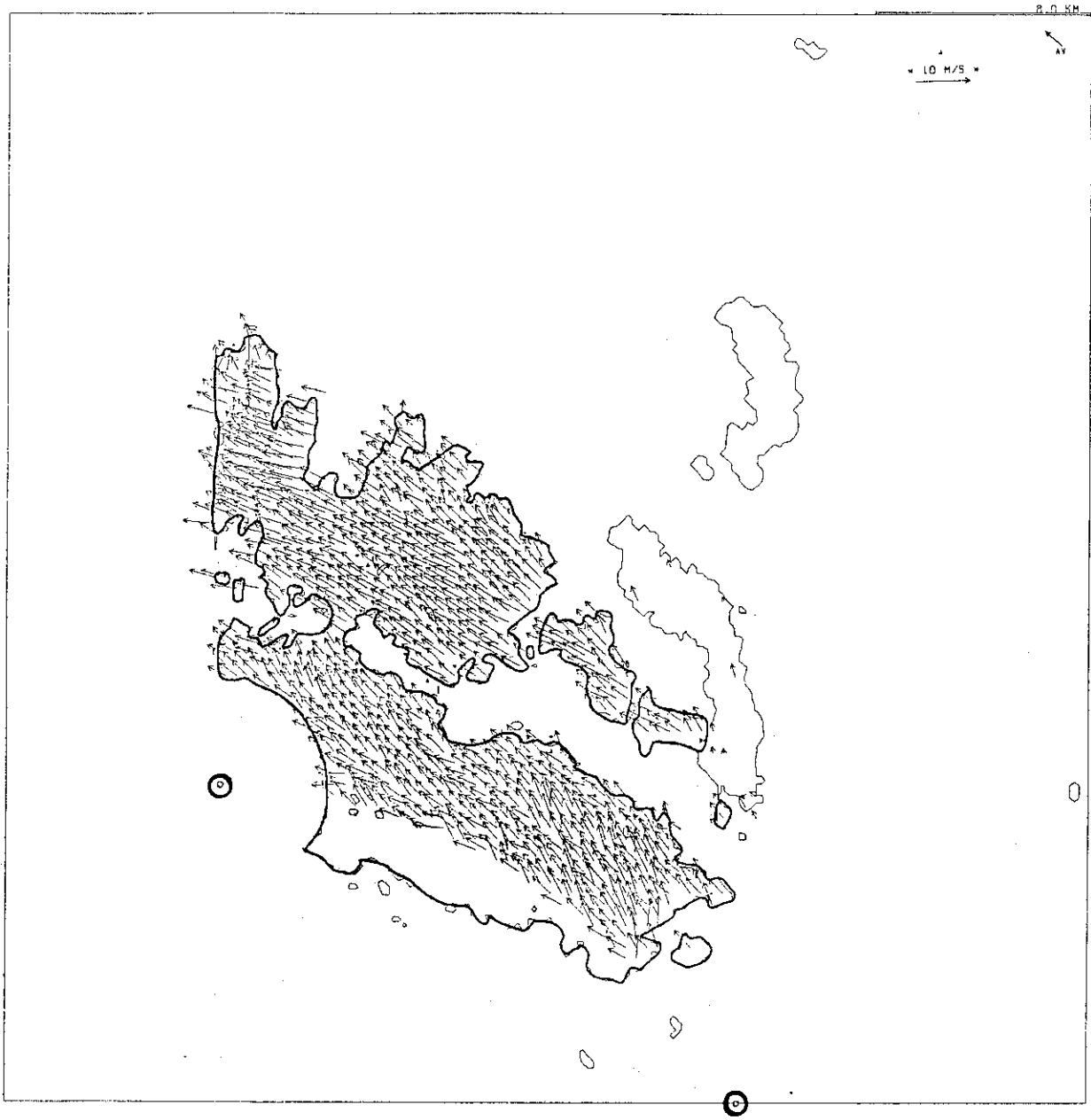
Run 4 は 2 線上に 40 パックずつのチャフを投下したため、2 本の 2 重線で示す。矢印は投下時の主風向、黒丸は 1 パック 150 g の投下点。



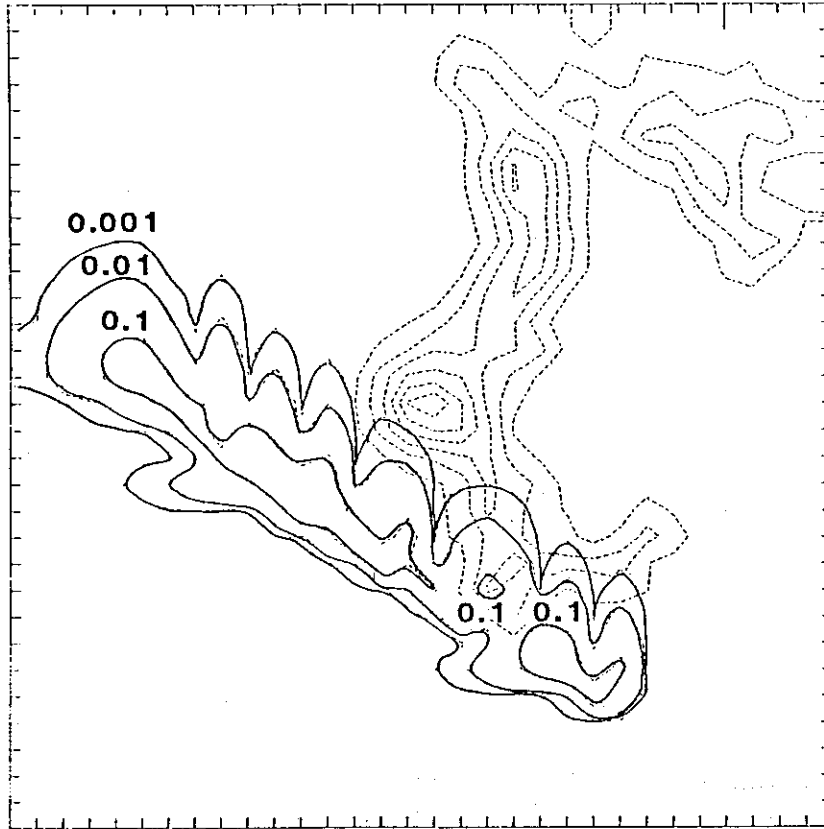
第3.4図 一般流が北風で安定条件の時のチャフ映像の追跡例 (Run 3, 600 m高度)



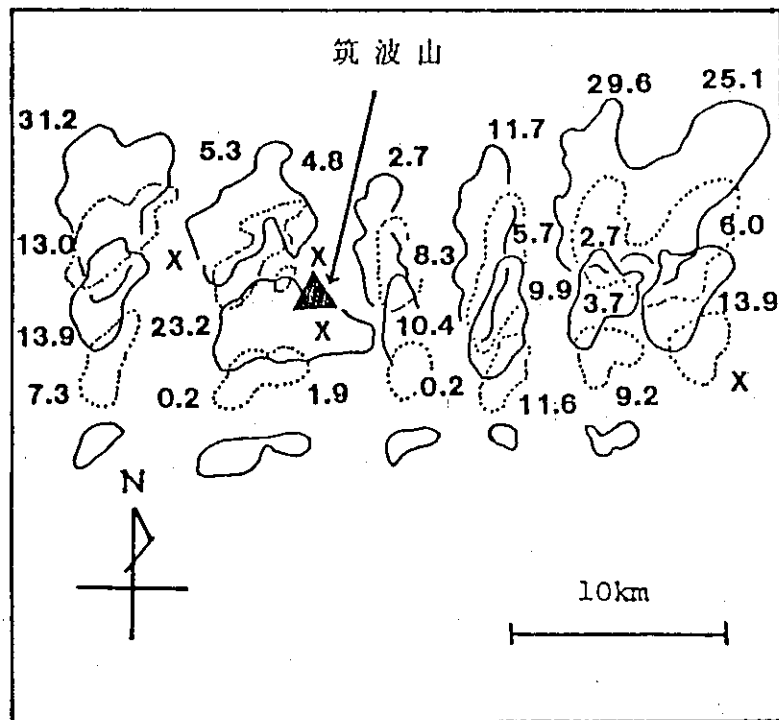
第 3.5 図 投下 20 分後のチャフの分布 (等値線は相対反射強度を示す。)



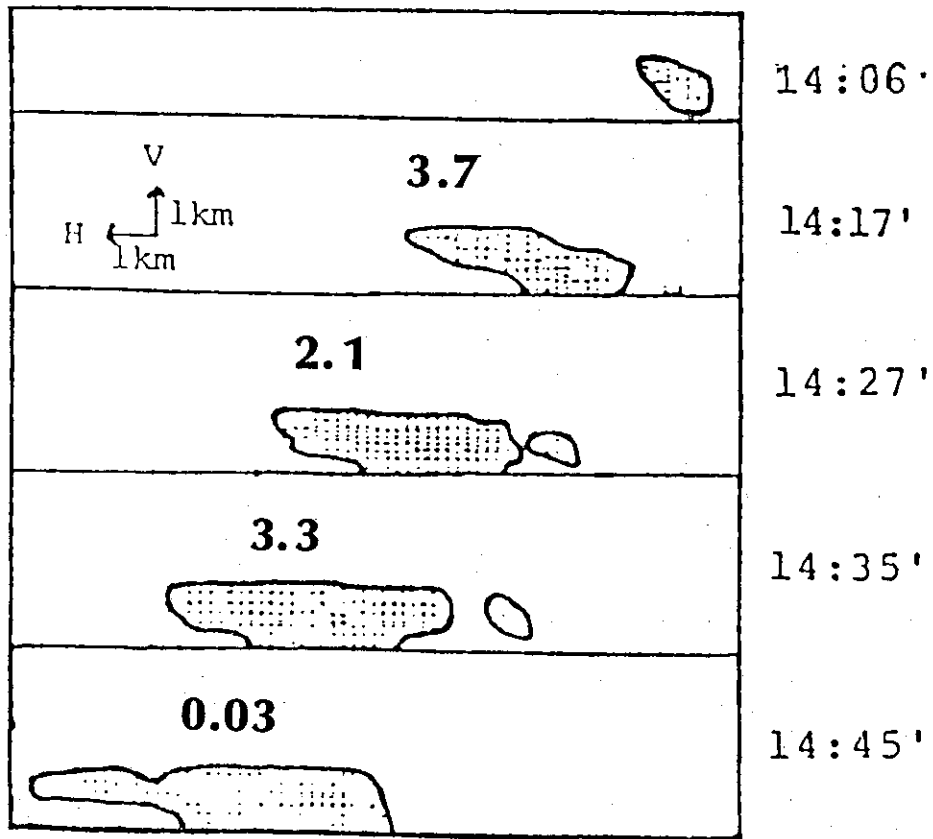
第3.6図 2カ所のレーダのドップラー解析により求めたチャフの移流ベクトル
(Run 4, 投下後30分, 800 m)



第3.7図 図3.5と同じ時間の気流場と同じ放出点のガストレーサーを仮定した差分法拡散モデルによる計算結果



第3.8図 南風、中立条件の時、筑波山地域に散いた7点のチャフの約10分間隔のレーダ映像位置と映像面積の時間変化率から求めた水平拡散係数の相対値



第 3.9 図 図 3.8 の左から 4 番目のチャフの南北方向鉛直断面映像と鉛直拡散係数の相対値

4. 風 洞 実 験

加藤真規子*

4.1 まえがき

我が国で原子力施設が設置されている場所は、単純な地形を呈している所が数少ない。したがって、原子力施設等から放射性物質が放出された事故時の拡散は、地形による影響を多く受けることが推察され、そのための大気拡散の研究には、特に地形の影響を考慮して調べることが必要である。しかし、これを野外実験のみに期待することは、実験条件の選択と、特に経済性の点から言って困難が多いので、風洞実験や数値実験が有力な手段となる。

大気拡散現象を把握するための風洞実験は、基礎的な実験をはじめとして、大気拡散モデルの実験的検証、複雑地形上でのシミュレーション実験、多くの実験が困難な野外実験の代替等が目的となる。実施した実験は大別すると、地形模型上において気流と拡散の地形性状との関係を調べた実験と、それらの実験に関係する基礎的な実験になる。実験の項目とその実施年度は下記のようなのであるが、実験には、気象研究所の大型気象風洞（内田他¹⁾、西山他²⁾）を使用した。

〔地形模型上の実験〕

- (1) 比較的平坦な地形上の実験（昭和56, 57年度）
- (2) やや複雑な地形上の実験（昭和58, 59年度）
- (3) 温度成層内における比較的平坦な地形上の実験（昭和58, 59, 60年度）
- (4) 孤立峰がある地形上の実験（昭和60年度）

〔基礎の実験〕

- (5) レーザドップラ流速計による風速分布の測定およびその改良について（昭和56, 58年度）
- (6) 温度変動場での熱線風速計による風速測定法の検討（昭和59年度）

以上の各項目について次節以降に概説をするが、実験の方法で共通な点を記しておく。

大部分の実験は、拡散実験の放出源の位置の地上点を原点としている。座標は、流れ方向をX、鉛直上方をZとし、Yはこれらに直角にとって、地形上で相当する現地距離を採用している。地形上の高さは、特に明記しない場合は地上または平均標高からの距離をとっている。また、風洞測定部上での位置を表わす場合には、測定部前縁の中心点から、(x, y, z)として風洞の実寸法で表わしている。

気流の測定には、直径5 μ m、長さ1.3mmのタングステン線のI型、またはX型熱線センサーを用い、定温度型熱線風速計（カノマックス熱線流速計7000システムおよびダンテック5600型計測システム）により、3成分の平均風速(U, V, W)と変動風速(u, v, w)を検出した。変動風速の標準偏差 σ_u 、 σ_v 、 σ_w はシグマメータにより1分間の平均値で求めた。

拡散実験は、点源を、外径3.0mm、内径2.7mmのパイプで作製したI型の放出口（図4.1(a)）を使用し、純プロパンガスをトレーサとして実験を行った。点源の場合、放出量Qは実験により異なるが、Q = 100~600 cc/minの範囲である。濃度は、図4.1(b)の吸引プローブにより、

* 気象研究所物理気象研究部

体積速度 1.7 cc/sec (吸引の線速度 0.5 m/sec) で吸引し、水素炎イオン検出器による炭化水素濃度計 (ベックマン濃度測定システム) を使用して測定を行った。風洞が屋内回流式なので、バックグラウンド濃度の上昇を抑えるために、屋内の空気は一定時間毎に換気ファンにより外部へ排出した。

4.2 比較的平坦な地形上の実験

4.2.1 実験の概要

対象地域として選んだ比較的平坦な地形 (以下、平坦地形と略す) について、平坦地形の地形図を図 4.2 に示す。風向を E, NE, SE にとった場合の地形の断面図は図 4.3 に示すように、いずれも標高 20~30 m 程度の平坦な地形を呈している。風向 E に対する各風下距離の平均標高を表 4.1 に示す。

模型は縮尺 1/2,000、直径 2.8 m の円形模型を製作して、風洞内、 $x = 6 \sim 9$ m の位置にセットした。

実験の概略図を図 4.4 に示す。風洞内に乱流境界層をつくるために粗度パネルを使用した。粗度パネルは、直径 1 cm のシリンダーが流れ方向に 10 cm、横方向に 5 cm の間隔で並べられ、粗度の高さが 10 cm まで自由に調節できるようになっている。パネルの大きさは 3 m 平方である。平坦地形の実験では、粗度の高さを 3 cm にした。風洞主風速は $U_{\infty} = 3.0$ m/sec とした。

地形上の実験と比較をするために、地形上と同位置で平板上での実験も行った。

4.2.2 気流測定の結果

平板上の平均風速分布と乱れの強度 σ_u/U の鉛直分布を図 4.5 (a), (b) に示す。平板上では U と σ_u/U の鉛直分布は風下方向にほとんど変化がなかった。このことは、風洞実験の欠点とされる乱れの減衰がないことを意味する (加藤³⁾)。

3つの風向 E, NE, SE に対する U と σ_u/U の鉛直分布は、地形が比較的平坦なため、風向による大きな差異は認められなかった。同一水平面内における U と σ_u/U の分布も、地上 100 m 以上ではほとんど同じであった。風向 E に対する U と σ_u/U の XY 平面での分布を、標高 $Z = 30, 50, 100, 200$ m について示すと、図 4.6 (a)~(d) と図 4.7 (a)~(d) となる。 $U, \sigma_u/U$ とも、 $Z = 30$ m では地形の影響により各測定点に差がかなり見られるが、 $Z = 50$ m では地形の影響が小さくなり、 $Z = 100$ m と 200 m では同一水平面内で差がなくなっている。したがって、このような平坦な地形では、特に高さ 50 m 以下をのぞけば地形の影響は大きくはなく、風速に関する量は、主風向線上の値をもって代表させてもよいと考えられる。風向 E に対する U と σ_u/U の鉛直分布は図 4.8 (a), (b) に示す。図 4.5 と図 4.8 における風速分布に、便宜的によく用いられる指数法則を適用してそのべき指数 p を求めると、平板上の場合には $p = 0.12$ 、地形上の場合には平均して $p \approx 0.17$ である。さらに、対数法則を適用して粗度定数 z_0 を求めると、平板上では $z_0 = 0.7$ cm、地形上では $z_0 \approx 10$ cm である。竹内他⁴⁾ によるとそれぞれ、草丈のかなり短い平地と草丈が高く密生した草原または農地に相当する値である。平坦地形上の値は、平板上と比較すると、 p, z_0 の値とも大きな値を示し、地形の影響を受けた結果と考えられる。 z_0 の値についてみると、平坦地

形上での粗度は少し足りないように思われる。また、図 4.5 と図 4.8 の分布からは、地形の影響が大体地上 80m 以下で現われていることが分かる。

以上の気流測定の結果から、3 風向 E, NE, SE に対する気流は、風向による地形の影響が大きくはなく、 U と σ_u/U は、風向によらずそれぞれほぼ同じ分布をすることが分かったので、拡散実験については、風向 E を代表させて実施した。また、気流測定の場合と同様に平板上での実験も実施した。

4.2.3 拡散実験の結果

拡散実験の点源の高さ H_S は、 $H_S = 10, 40, 100, 150$ m の 4 高度とした。濃度分布の測定は、 $X = 0.5, 1.0, 2.0, 3.0$ km の個所の YZ 面について行った。

$H_S = 10$ m と 150 m の場合について、 $Z = 2$ m の地上濃度分布を XY 面の等濃度線図で示すと、図 4.9 と図 4.10 のようになる。ただし、地形上の場合の濃度は標高に関係なく示してある。平板上の場合、流れ方向に対してほぼ対称性のある分布を示す。平坦地形上の場合、特に $H_S = 10$ m の場合、地形の影響を受けていると見られる Y 方向への流れが現われている。

さらに、平坦地形上と平板上の拡散について、煙軸地上濃度 C_0 を風下距離 X の変化についてみると、図 4.11 のようになる。放出源が高い場合は、地上濃度は地形上の方が平板上の場合よりも高く、平板上の場合の 1.2 倍程度の値を示している。また、地上最大濃度 $C_{0 \max}$ は地形上の方が平板上よりも近距離に現われている。これは、地上付近では地形上の乱流強度は平板上の場合よりも大きいので、地形上での拡散の度合いが大きくなっているためと考えられる。

横方向の濃度分布は、地形上および平板上の場合とも、典型的な正規分布で表わすことができた。すなわち、 Y 方向の濃度分布は

$$C(Y) \sim C_m \exp\left(-\frac{(Y-Y_m)^2}{2\sigma_Y^2}\right) \quad (1)$$

で表わされる。ここで、 C_m は横方向濃度分布の最大値、 Y_m はその位置、 σ_Y は横方向拡散パラメータである。 σ_Y の値は最小自乗法により求めた。 $H_S = 10$ m と 150 m の場合、 σ_Y の高さ方向の分布を図 4.12 に示す。また、各放出源高さにおける σ_Y の X 方向の変化は図 4.13 に示す。この分布は、Pasquill - Gifford 図では安定度 D ~ E に相当し、実験がやや安定気味のものであったことが分かった。

鉛直方向の拡散については、各高さにおける濃度を横方向に積分した積分濃度 C_ℓ の鉛直分布について検討をした。すなわち、積分濃度 C_ℓ は

$$C_\ell = \int_{-\infty}^{\infty} C_m \exp\left(-\frac{(Y-Y_m)^2}{2\sigma_Y^2}\right) dY = \sqrt{2\pi} \cdot C_m \cdot \sigma_Y \quad (2)$$

である。

$H_S = 100$ m の場合について、 C_ℓ の鉛直分布を示すと、図 4.14 の丸印となる。

鉛直方向の濃度分布の解析には正規型の濃度式を適用した。濃度の鉛直分布は次式で表わされる。

$$C_z(Z) \sim \frac{1}{\sigma_z} \cdot \left[\exp\left(-\frac{(H-Z)^2}{2\sigma_z^2}\right) + \exp\left(-\frac{(H+Z)^2}{2\sigma_z^2}\right) \right] \quad (3)$$

ここで、Hは、濃度式中で放出源の高さに相当する量を表わすパラメータで、実際の放出源の高さ H_S とは異なる場合が多い。また、 σ_z は鉛直方向拡散パラメータである。

$C_z(Z)$ の鉛直分布を最もよく表わすパラメータ σ_z とHを選んで計算した(3)式の分布は、図4.14の実線のようになる。この結果より、実測の鉛直濃度分布が(3)式の正規型の式でかなりよく近似されることが分かった。各放出源高さについて、 σ_z のX方向の変化を図4.15に示す。いずれの場合もPasquill-Gifford 図の安定度C~Dに相当し、顕著な地形の影響は現われていない。

4.2.4 まとめ

平坦地形上と平板上について、気流と拡散の実験を行った結果をまとめると、

- (1) 比較的平坦な地形のため、3風向について調べたUと σ_u/U の分布は、地形による顕著な差はなく、また、平板上の結果との顕著な差も見られなかった。
- (2) 横方向および鉛直方向の拡散においても、地形上と平板上の顕著な差は見られなかった。ただし、地形上の地上濃度分布では、地形の影響と見られる横方向の流れが現われている。また、地上最大濃度 $C_{0\max}$ の現われる位置も、地形上の方が平板上よりも近距離に現われていて、平板上より高い値を示した。
- (3) 横方向拡散は正規分布で表わされ、鉛直方向拡散も濃度分布が正規型の式で近似できた。

4.3 やや複雑な地形上の実験

4.3.1 実験の概要

対象として選んだ地形は、地形の一部が2次元性を呈していて、やや複雑な地形とすることができる(以下、複雑地形と略す)。地形の概略図は、50m毎の等高線で示すと図4.16のようである。模型は縮尺1/2,000で、直径2.9mの円形模型を用いた。

実験の概略図を図4.17に示す。風洞の前縁から6mまでは、風洞に設備された粗度パネルと木片ブロックを配置して乱流境界層をつくった。地形上の中心(排気塔)は前縁から13.5mの位置にセットし、風洞風速は $U_\infty = 3.0\text{ m/sec}$ とした。地形に対する風向は風向Nとした。測定の対象とした個所は、 $X = 0, 0.5, 0.72, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0\text{ km}$ である。

4.3.2 気流測定の結果

複雑地形上の場合においても、第4.2節の平坦地形上と同様に、平板上のUと σ_u の鉛直分布が流れ方向にほとんど変化しない場所を実験位置として選んだ。主軸上($Y=0$)の $X=0.0, 1.0, 2.0, 3.0\text{ km}$ におけるUと σ_u の鉛直分布を図4.18(a),(b)に示す。同図には、これらと比較をするために平板上の $X=0.0\text{ km}$ の分布を点線で示してある。これらのUの分布に風速の対数法則を適用した粗度定数 z_0 、摩擦速度 u_* は、いずれも地形上の方が平板上に比べて大きな値を示し、明らか

に地形の影響を受けていることが分かる。また、風速の指数法則による指数 p の値も地形上の場合には平板上に比べて森林や市街地に相当する大きな値 ($p = 0.25 \sim 0.63$, (塩谷⁵⁾) を示している。 σ_u は場所、高さによって異なり山の後流では平板上の場合の σ_u に対して2倍以上の値を示す個所がある。一般に $Z = 400$ m以上では平板上の値に殆んど等しくなっていて、 $Z = 400$ m以下で地形の影響を受けている。このことをもう少し分かりやすくみるために、 U および σ_u 、 σ_v 、 σ_w のプロファイルとそれらの等値線を図4.19、図4.20の主軸上の断面図に示した。ある程度距離が離れて独立している山の頂上附近では風速の等値線は密になり、その後流には乱れの強い渦領域ができる。渦領域は山の高さの10倍程度下流まで及んでいる。同じ測定位置における σ_u 、 σ_v 、 σ_w の鉛直分布は、分布の形が地上附近を除くと大体似ている。値は σ_u が最も大きい。同じ高さの σ_v 、 σ_w の値を σ_u に対する比で求めると、高さ25 m以上の全測定点について、 $\sigma_v/\sigma_u = 0.8 \pm 0.1$ 、 $\sigma_w/\sigma_u = 0.7 \pm 0.1$ となった。 σ_w/σ_u の値は、気象研究所の気象観測用鉄塔で、高さ10 mから200 mについて測定された強風時の観測結果 (Hanafusa et al⁶⁾、 $\sigma_w/\sigma_u = 0.66 \pm 0.04$) と一致した。

乱れのエネルギースペクトルをアナログフィルターによる方法 (加藤⁷⁾) により求め、スペクトルのピークから求めたスペクトルスケール λ ($\equiv U/n_m$, n_m : スペクトルがピークを示す周波数, U : 平均風速) の地形による影響を示すと図4.21のようである。 λ_u の大きさは、地形の影響を受けている山の風下側下層の部分で小さくなっている。 λ_w の値は λ_u の場合程地形の影響を受けていない。また、 λ_u の場合とは逆に、山の風下側の乱れの強いところでは、風上側の1.5倍程度の大きさを示している。 λ_w は高さ Z とともに変化する傾向を示し、風上側、高さ25 m以上で $\lambda_w \propto Z^{0.75}$ 、風下側では値がばらついているが $\lambda_w \propto Z^{0.7 \sim 0.9}$ で示される。

4.3.3 拡散実験の結果

拡散実験は、 $H_g = 10, 40, 100, 150$ mの4高度の点源高さについて実施した。ここでは $H_g = 100$ mの場合の濃度測定の結果を述べる。

各風下距離の等濃度線図を図4.22に示す。各高さの横方向の最大濃度値を示す位置 Y_m を点線で書き入れてある。点源からの距離が近い $X = 0.5$ kmでは等濃度線も大体円形で、ほとんど地形の影響を受けていないが、 $X = 0.72$ kmにある山を越えると、遠くに行くにしたがい等濃度線が大きく変化していくのが明瞭に認められる。地形による影響を受ける度合は高さの低い所ほど大きく、高さ300 m以上では Y_m は殆んど $Y = 0$ の位置を維持している。

地上濃度、標高 $Z = 100$ mおよび $Z = 200$ mの XY 断面の等濃度線図を図4.23に示す。地上濃度では $X = 0.72$ kmまで山の斜面を登りながら拡がっていくのが推察される。煙軸最大濃度 C_m は風下に行くにつれ200~300 m程主軸からずれていくが、 $Z = 100$ m、200 mと高くなるにしたがい主軸からのずれは少なくなり、高いところほど地形の影響によって拡散が変形する程度が少なくなっている。このことは、図4.22でも示されている。図4.23の横方向 (Y 方向) の拡がり方は Y_m を中心にすれば左右の対称性が保たれていることが判り、 Y 方向の濃度分布は正規分布に近いことが想像される。このことを調べるために標高 $Z = 160$ mで各風下距離の横方向濃度分布をプロットしたのが図4.24の白丸印である。横方向の単位の長さは各風下距離で変えてある。この分布の各濃度幅の中心に対して濃度と Y^2 の関係を求めると黒丸印の分布となり、

ほぼ直線で近似できる。したがって横方向の濃度分布は、少し変形はしているが正規分布として扱えることが分かった。標高 $Z = 100, 200, 300$ m における σ_Y の x 方向の変化を図 4.25 に示すが、特に山の風下側では、高さ方向の変化も大きいのが分かる。点線は、平坦地形 $H_S = 100$ m の場合の $Z = 100$ m についての分布である。図 4.26 には、 Y_m における煙軸最大濃度 C_m のプロフィールを、 $Y = 0$ に沿った地形断面図上に示した。

鉛直方向の拡散については、第 2 節の場合と同様に、(2)式により積分濃度 C_ℓ を求め、 C_ℓ の鉛直分布について検討を行った。実測の C_ℓ の分布を図 4.27 に丸印で示す。これらの分布に正規型濃度式(3)を適用して計算した分布は、同図に実線で示してある。図 4.27 の結果から複雑な地形上においても、鉛直方向の濃度分布が(3)式で近似できることが分かった。パラメータ H については、 H の値を図 4.26 の地形断面図上に丸印で示した。また、鉛直方向拡散パラメータ σ_Z の X 方向の変化を図 4.28 に示した。比較のため図 4.28 には、平坦地形 $H_S = 100$ m の場合の結果を点線で示してある。複雑地形の場合は、地形効果が大きく、気流測定の結果でも分かったように、乱れの大きさは平板上や平坦地形上に比べてかなり大きな値で分布している。したがって、拡散幅も大きくなったと考えられるが、これらの量的な関係と地形効果については今後検討をしなければならない。

4.3.4 まとめ

複雑な地形上では、気流、拡散とも地形の影響を大きく受けることが分かった。要約すると下記のようなになる。

- (1) 平均風速分布では粗度定数 z_0 が大きい値を示すとともに、山の後流では対数法則の適用できる高さは低くなった。
- (2) 山の頂上附近では風速分布の等値線は密になり、その後流には乱れの強い渦領域ができ、山の高さの約 10 倍程度下流にまで及んだ。
- (3) σ_w / σ_u の値は地形によらず大体一定で、大気中で観測された値と一致し $\sigma_w / \sigma_u = 0.7 \pm 0.1$ であった。
- (4) λ_w は高さ Z の関数として表わされ、 $\lambda_w \propto Z^{0.7 \sim 0.9}$ であった。
- (5) 横方向の拡散は地形の影響を受けて変形しているが、その分布はほぼ正規分布で表わせることが判った。
- (6) 拡散が地形の影響を受けるのは、地上に近い程大きく、上層に行くにつれてその影響は少なくなる。
- (7) 鉛直方向の濃度分布は拡散係数を定数とする正規型の濃度式で近似できた。

4.4 温度成層内における比較的平坦な地形上の実験

4.4.1 実験の概要と結果

温度成層による拡散への影響をしらべるために、風洞の気流中に温度分布を与えて実験を行った。

実験の概略図を図 4.29 に示す。乱流境界層をつくるためには一辺 2.5 cm の立方体を使用した。

風洞測定部は風洞床面と壁面の一部を断熱材で被って温度分布を安定させた。温度成層は、測定部の前部に設置した温度成層用カートのヒータ温度と測定部床面の温度を調節して、安定と不安定の温度成層をつかった。風洞風速は温度分布の2次元性を保つために、 $U_{\infty} = 2.0 \text{ m/sec}$ とした。

対象地形は、第4.2節と同じ平坦地形とした。ただし、模型の縮尺は1/1,500とし、模型の材質は温度伝導率を考慮してアルミ材で製作した。

風速測定には、温度補償をした熱線風速計（DANTEC 温度補償ブリッジによる熱線風速計システム（第4.7節））が使用できることが分かったので、直径5 μm のタングステン線センサーにより風速測定を行った。また、温度分布の測定には、熱線センサーを抵抗温度計として使用した。

$x = 0 \text{ m}$ で得られた、安定と不安定の成層の温度 T と温度変動の標準偏差 σ_T の鉛直分布を図4.30に示す。また、平均風速と乱流強度の鉛直分布を図4.31に示す。図4.31から温度成層が風速分布にも影響を与えることが分かる。 σ_u/U の値は中立成層と比較をすると、不安定成層では大きく、安定成層では小さくなっていることが明瞭である。図4.30と図4.31での座標は、風洞実寸法で (x, y, z) にとっている。

拡散実験は、地形上の点源の位置を第4.2節の場合と同位置にし、高さを $H_S = 40 \text{ m}$ として、不安定成層と中立成層での実験を行った。横方向の濃度分布は正規分布を示したので、その拡散パラメータ σ_Y を最小自乗法により求めた。標高 $Z = 40 \text{ m}$ と $Z = 100 \text{ m}$ の σ_Y の X 方向の変化を図4.32に示す。Pasquill-Gifford図における分布は、第4.2節の場合と同様の傾向であり、不安定成層の場合の方が若干大きな値を示す。鉛直方向の濃度分布は、積分濃度 C_L （第4.2節、(2)式）を求めて図4.33に示した。不安定成層の場合を白丸、中立成層の場合を黒丸で示してある。不安定な成層の場合の方が拡散は大きい、著しい差はない。温度成層の拡散への影響を調べるためには、さらに大きな勾配の温度分布を与えることが必要である。

4.5 弧立峰がある地形上の実験

4.5.1 気流と拡散の実験結果（その1）

対象として選んだ地形は、マクロ的に見ると平坦地形上に弧立峰が存在している筑波地区である。100 mの等高線で書いた地形図を図4.34に示す。横型は筑波山の女体山頂を中心に直径28 mの円型模型を製作し、風洞内の図4.35に示される位置に置いた。風洞風速は、 $U_{\infty} = 3.0 \text{ m/sec}$ とし、風向はNにとった。座標は風向Nを X 軸にとり、原点を筑波山頂の位置にとった。風向Nに対する筑波山の風下側は20 kmまでの地形模型を置いたが、標高20 m程度の平坦な地形となっている。

主軸上の風速分布を図4.36に示し、それらの風速分布における粗度定数 z_0 、摩擦速度 u_* 、風速分布の指数 p の値を表4.2に示す。これらの風速分布を表わすパラメータは地形とともに変化していつている。平均風速 U と乱流強度 σ_u/U の分布を主軸に沿った断面図上に示すと、図4.37(a)、(b)のようになる。山頂の風下側には、逆流の領域ができることを、タンポポ風向計により確認した。また、山の風下側ではかなり乱れが強くなることも、複雑地形上で観測されたのと同様である。山の回りの流れの様子を、標高 $Z = 200 \text{ m}$ 、 300 m 、 500 m の水平断面につい

てみると、図 4.38 のように気流が山を回って流れているのが分かる。矢印はベクトル風速で示されている。

拡散実験は、 $X = -4 \text{ km}$ 、 $Y = 0 \text{ m}$ の地点（図 4.34 の S1 地点）から地上放出（ $H_S \approx 8 \text{ m}$ ）と $H_S = 200 \text{ m}$ の放出高度で実施した。風下距離 $X = -2 \text{ km}$ から 4 km までの各測定地点での鉛直断面等濃度線図を図 4.39 (a), (b) に示す。第 4.39 図の等濃度線を比較すると、地上放出と高所放出では、拡散パラメータ σ_Y の値は、地上放出の方が大きく、 σ_Z の値は高所放出の方が大きいことが推察される。また、山の斜面を越える場合は、その地形の平均的な切線に対する拡散を考えると、平坦地形上と同様な正規濃度分布の適用が可能と考えられる。

4.5.2 気流と拡散の実験結果（その 2）

筑波地区野外拡散実験の結果を風洞実験で再現が可能かどうかの試みを行った。

野外実験では充分満足のいく結果を得るのは困難である。したがって 1984 年に行われた実験でも、風洞実験検証の対象にできる結果は少なく、その中では、10 月 18 日に行われた Run 8 のデータ（実験データの詳細は第 2 章図 2.26 を参照）に着目して風洞実験を行った。

拡散実験のトレーサ放出地点は図 4.34 の S2 地点で、 $X = 0.3 \text{ km}$ 、 $Y = 3.3 \text{ km}$ 、標高は $Z = 40 \text{ m}$ である。拡散実験は S2 地点を中心に、地上 200 m、半径 200 m の円周上をヘリコプターが旋回しながらエアトレーサ SF_6 を 20 kg/h で 30 分間放出した。サンプリングは、トレーサ放出時から 1 時間行って、時間積分濃度が求められている。風速との問題もあるが、比較的近距離においては、トレーサのサンプリングはほぼ全時間帯に互っていると考えられる。対象としたデータは、5 点の地上濃度で $Y = 1.9 \text{ km}$ の線上にある。

拡散実験時の気象データは、トレーサ放出の開始時刻 1300 における S2 地点での風向が、地上で風向 E、地上 200 m では風向 ESE であった。また、小型係留ゾンデによる風速分布を図 4.40 (a) に示す。さらに、S2 地点より約 1.5 km 東寄の平坦地形上の地点 M（第 4.34 図）でのパイロットバルーンによるデータでは、時刻 1300 より 15 分毎の風速と風向の測定結果が図 4.40 (b) のようになっている。さらに M 地点での観測では、風向変動の標準偏差 σ_d は $10^\circ \sim 15^\circ$ である。したがって、以上の気象データから、トレーサ放出時の風向としては E ~ SE 成分が考えられる。時刻 1300 における S2 地点での気温の鉛直分布は中立であった。

上記のことを考慮して、風洞実験では拡散源を幅 400 m 相当のパイプに等間隔の穴をあけ、線源状にした。放出地点は S2 地点の高さ 200 m の位置に置いた。風向は、E, ESE, SE の 3 風向について実験を行い、 $Y = 1.9 \text{ km}$ 上の地上濃度分布を測定した。得られた濃度分布の結果は図 4.41 に示すが、風向 E, ESE, SE に対する風向および濃度分布に番号をつけて、それぞれ (1), (3), (5) とする。さらに、 σ_d が $10^\circ \sim 15^\circ$ であることを考慮すると、少なくとも 10° 程度の間隔で濃度分布を求める必要がある。したがって、風向 (1) と (3) の中間風向 (2) として、その濃度分布は (1) と (3) の分布から内挿法により求めた。同様にして、(3) と (5) の中間風向 (4) に対する濃度分布 (4) を求め、図 4.41 に点線で示した。

実験時の風向のデータから判断して、時刻 1300 から 1330 までの風向が、いま風向 (2), (3), (5) が等しい重みで変化したと仮定すると、 $Y = 1.9 \text{ km}$ 線上での濃度分布は、図 4.41 の風向 (2), (3), (5) に対する濃度分布を重ね合わせた分布になり、図 4.42 の実線が得られる。実測の濃度分

布は同図に丸印で示されているが、風洞実験の結果から合成した濃度分布でよく表わされている。図 4.41 の縦軸は、無次元化した濃度 $\Gamma (\equiv CU \sigma_Y \sigma_Z / Q)$ にとり、添字 f と w は、野外と風洞を表わす。この場合、 σ_Y と σ_Z の値は分らないので、野外での値を 1 とし、風洞での値はその $1/5,000$ とした。

この試みは、距離が比較的短いために到達時間も短かく、単純な濃度分布の重ね合せが比較的簡単に観測結果に一致したものと考えられる。

4.6 レーザドップラ流速計による風速分布の測定およびその改良について (藤谷他⁸⁾)

4.6.1 レーザドップラ流速計について

レーザドップラ流速計 (LDV) はコヒーレントなレーザー光の特徴を生かし流体中に含まれる微粒子の散乱光のドップラ周波数変化を測定して光学的に流速を測定する装置である。その特徴としては次のような点があげられる。

- (1) 流れの中にプローブを挿入する必要がなく非接触測定が可能である。
- (2) 流速とドップラ周波数の間に直線関係が成立するので較正が容易である。
- (3) 応答が速いので流速変動の高周波成分迄測定できる。
- (4) 空間分解能が良く、小さい部分の流速が測定できる。
- (5) 流速の測定範囲が広い。

しかし、次のような欠点もある。

- (1) 測定を行うためにはレーザー光を入射する観測窓が必要である。
- (2) 流体中に光散乱粒子が必要である。
- (3) 光学系が複雑であり、調整に手間がかかる。
- (4) 信号処理、データ処理が複雑である。

しかしレーザー流速計の特徴は従来の熱線風速計では測定が非常に困難であった温度変動のある流体中での測定が可能なことである。

4.6.2 レーザ流速計の概要

導入したレーザー流速計は 2 カラー、4 ビームの後方散乱差動型で風洞気流の水平および鉛直成分が測定できる。図 4.43 にこのシステムのブロック・ダイアグラムを示す。光源としてアルゴンイオンレーザーを用いており、出力は最大 4 W で、波長は 4880 \AA (青) と 5145 \AA (緑) である。縦モード間隔は 150 MHz となっている。光源から発振されたレーザー光はコリメータによって平行光線にされ、カラーセパレータによって必要な波長の光がミラーに入射された後、ビームスプリッタによって強度の等しい 2 本の平行ビームに分離される。ビームは偏波面回転器を通った後、ビーム平行間隔短縮器によってビーム間隔を 50 mm から 35 mm に短縮される。さらにビームエキスパンダによって入射ビームの直径を 3.75 倍に拡大することによって測定体積を小さくしている。収束レンズには焦点距離 1568 mm のものを用いた。ビームの交差角は 4.785° になるので測定体積は Δx (流れ方向) = $283 \mu\text{m}$, Δz (鉛直方向) = $283 \mu\text{m}$, Δy (流れ直角方向) = 6.8 mm, 干渉縞の間隔は、 $5.845 \mu\text{m}$ となる。散乱光は焦点距離 1568 mm のレンズによ

て集められ、カラープリッタによって2つの波長 14880 \AA 、 5145 \AA に分離され、それぞれの後方散乱受光器によって光電変換器に集められる。光学系から得られる信号処理方法として、今回はトラックを用いて周波数-電圧の変換を行った。

レーザー流速計で流速を測定する場合には、気流中に流体に合せて散乱粒子をシーディングする必要がある。

先に述べたように、今回のシステムでは干渉縞の間隔が $5.8 \mu\text{m}$ であるから、散乱粒子の直径はこれに比べて充分小さくなければならない。今回用いた散乱粒子は酸化アルミ (Al_2O_3) の粉末粒子で、平均粒径は約 $3 \mu\text{m}$ で、fluidized bed を用いた fluidization 法を用いて発生させた。この粒子の終末速度は約 1 mm/s となり、測定に対する影響はないものと考えられる。

4.6.3 測定結果

このレーザーシステムを用いて風洞気流の測定を行い、スパン 10 cm の超音波流速計 (SAT) との比較実験を行った。結果を図 4.44 に示す。この結果をみると両者の一致は非常に良く、平均2乗誤差は 3.6 cm/s と非常に小さな値となっている。しかし、乱れの強い床面近くではレーザーによる測定値が多少大き目にてていることがわかった。この原因としては、乱れが大きい床面付近では、散乱粒子の濃度分布の不均一によるものと考えられる。これを解決するためにはSN比を向上させる必要のあることがわかったので、 2401 mm の長焦点レンズを用いて一時的に受光光学系を風洞測定部の反対側に置いて、測定を行った。表 4.3 はシーディング装置のノズルと測定点との距離を変化させた場合のトラックによるデータ処理の割合を、前方散乱型と後方散乱型の場合と比較した結果を示したものである。

この表から前方散乱型を用いれば乱れの強い所でも測定できる可能性のあることがわかる。

4.6.4 まとめ

後方散乱型のこのレーザーシステムでは平均風速は測定できるが、乱流成分についてはSN比が良くないため、測定が困難であり、これを解決するためには前方散乱型にしてSN比を向上させれば良いことが明らかとなった。

4.7 温度変動場での熱線風速計による風速測定法の検討

4.7.1 実験方法および結果

前節で、レーザドップラ流速計による風速測定法では、現在のところ平均風速は測定できるが、乱流成分についてはSN比が良くないため測定が困難であることが分かった。拡散現象においては、平均流による移流現象とともに、変動風速 (乱れ) による拡散を量的に把握する必要がある。温度変動場においても風速測定が必要である。そのために、温度補償をした熱線による風速測定の方法について検討を行った。

周波数特性がよいために一般に用いられている定温度型の熱線風速計も、気流温度が異なる場合は、気流温度の感受と気流への放熱が同時になるために、正しい風速を測定できない。今回用いた温度補償用ブリッジ (DANTEC, 56C 14 型) は、定温度型熱線ブリッジ回路の熱線と隣合っ

た抵抗の部分に抵抗温度計が組入れられていて、気流の温度に比例した補償電流が熱線に流れ、気流の温度に無関係に風速が測定できるようになっている。

風洞の気流温度 6°C に対して、例えば、温度差 $+10^{\circ}\text{C}$ 、 20°C 、 30°C を与えて熱線風速計の出力を調べてみると、温度が高くなるほど熱線風速計の風速に対する出力は小さくなった。一方、温度補償用の回路による出力特性をとってみると、図 4.45 に示すように温度差 30°C まで充分温度補償されることがわかった。図では、各温度についての特性曲線が重なってしまうので、横軸をずらして書いてある。温度補償のプロープには直径 $5\ \mu\text{m}$ 、長さ $1.2\ \text{mm}$ タングステン線の X・プロープを使用し、一本を熱線とし、他の一本を抵抗温度計とした。

この補償をした熱線風速計の動特性について考慮をすると、熱線は数 KHz 程度の周波数特性を持つので問題はないが、抵抗温度計の動特性を考えなければならない。抵抗温度計の動特性は風速にも依存し、太さ $5\ \mu\text{m}$ のタングステン線の場合、抵抗温度計の風速による時定数と温度振幅の減衰比が 0.7 と 0.9 になる周波数 $f_c(0.7)$ 、 $f_c(0.9)$ を調べた結果 (加藤⁹⁾) を表 4.4 に示す。この表から、風速 $2\ \text{m/s}$ の場合で、抵抗温度計の温度振幅が 10% 落ちる周波数は約 90 Hz であるから、温度補償をした熱線風速計の回路全体としては 90 Hz 程度までの周波数に限って用いることができる。

4.8 おわりに

風洞実験においては、平板上の実験のように比較的基礎的な問題を含んだ実験から、複雑な地形に対する実験まで、様々な角度から実験を行ってきた。これらの実験から、かなりの点が明確になったが、今後はさらに難しい問題を解決しなければならない。例えば、比較的平坦な地形上の実験においてさえ、風洞実験の結果を実際の大気中に適用する場合に、大気安定度をどのように考慮するかの問題や、風向変動をどのように取り入れて扱うか等を明確にしなければならない。また、地形が複雑である場合は、地形効果による拡散が大気の大気安定度とどのように絡み合っているかも定かではないので、大気中の観測データが数少ない現在、風洞実験によって研究しなければならない課題の一つである。

最後に、気象研究所大型気象風洞を運転して頂いた梅沢俊夫氏に謝意を表します。

参考文献

- (1) 内田英治他：天気， **27**， 568-570 (1980)
- (2) 西山宏他：気象学会講演予稿集， **38**， 234 (1980)
- (3) 加藤真規子：天気， **32**， 511-522 (1985)
- (4) 竹内清秀他：地表に近い大気， 東京大学出版会， 東京， 21 (1981)
- (5) 塩谷正雄：強風の性質， 開発社， 東京， 41 (1981)
- (6) Hanafusa, T. et al. : Pap. Met. Geophys., **32**, 19-35 (1981)
- (7) Kato, M. : Pap. Met. Geophys., **33**, 137-147 (1982)
- (8) 藤谷徳之助他：第 1 回流れの計測大阪シンポジウム講演要旨集， 45-51 (1983)
- (9) 加藤真規子：気象研究ノート No. 143， 92 (1981)

表 4.1 平坦地形, 風向E に対する各風下距離における平均標高

X (km)	Z (m)
0.5	20.0
1.0	20.0
2.0	20.0
3.0	25.0

表 4.2 弧立峰がある地形上での風速分布を表わすパラメータの値

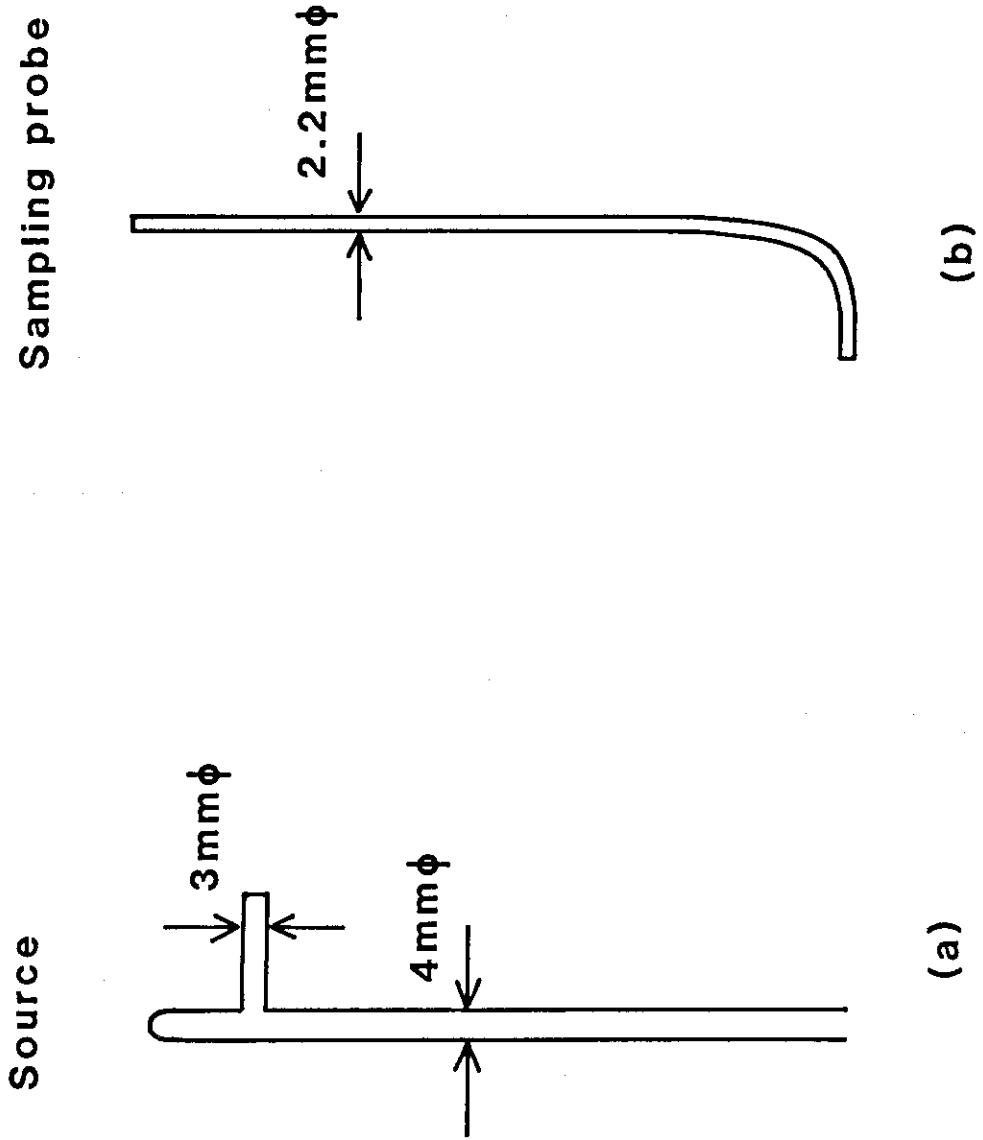
X (km)	-5	-3	-1	0	5	10	20
z_0 (cm)	1×10^{-3}	2×10^{-9}	8×10^{-3}	6×10^{-10}	1×10^{-1} 2×10^{-3}	2×10^{-5}	2×10^{-4}
u_x (cm/s)	9.4	3.9	13.0	4.7	16.0 6.3	6.4	8.9
p	0.15		0.2				0.12

表 4.3 前方散乱方式と後方散乱方式のデータレートの割合

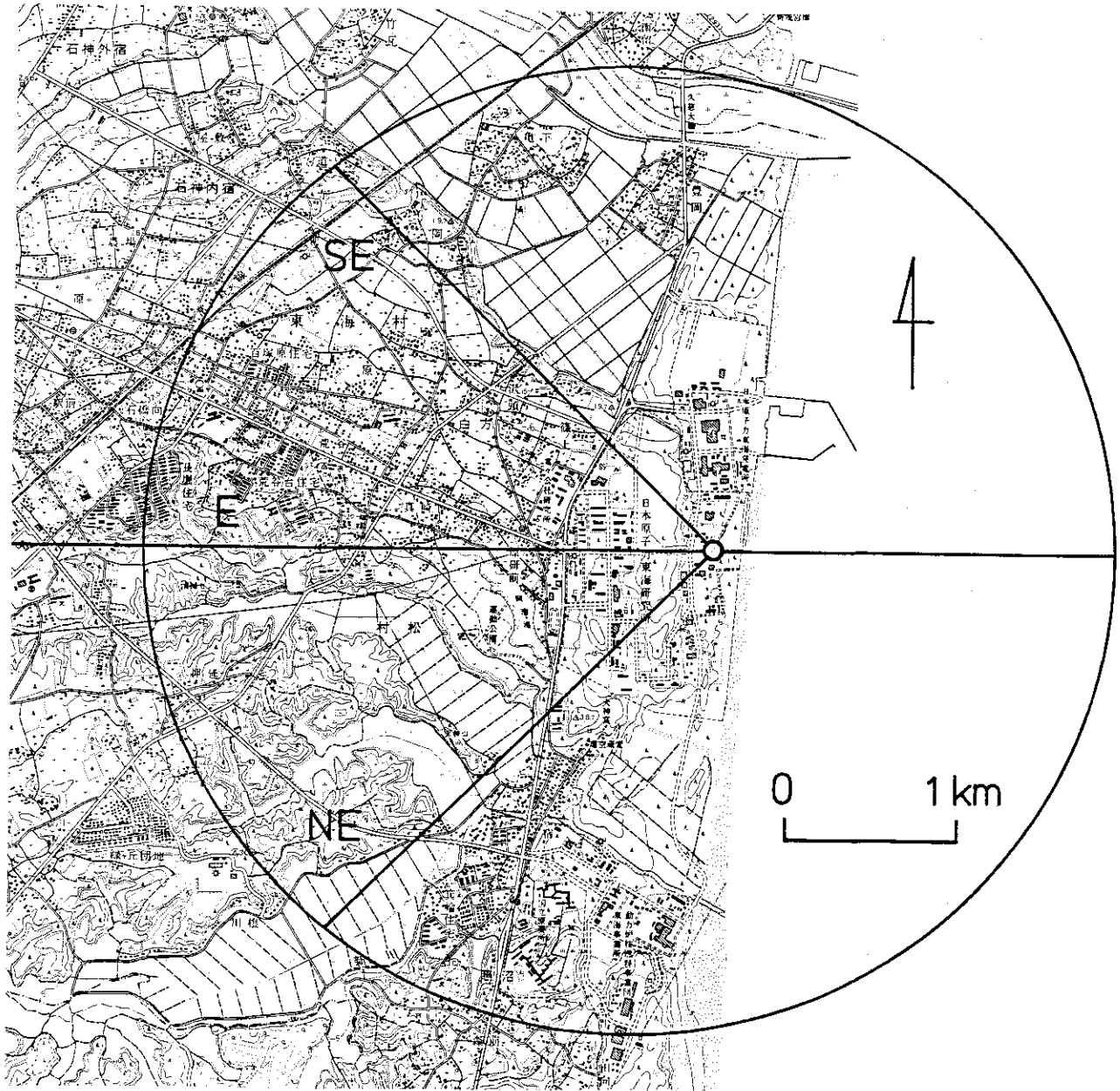
測定点 - ノズル間距離	前方散乱	後方散乱
10 ~ 15 cm	約 4000 回/sec	約 300 回/sec
2 m	約 300	約 50
3.3 m	50 ~ 150	-

表 4.4 ダングステン抵抗温度計 (5 μ m ϕ , 2 mm) の時定数と減衰比が 0.7 および 0.9 になる周波数

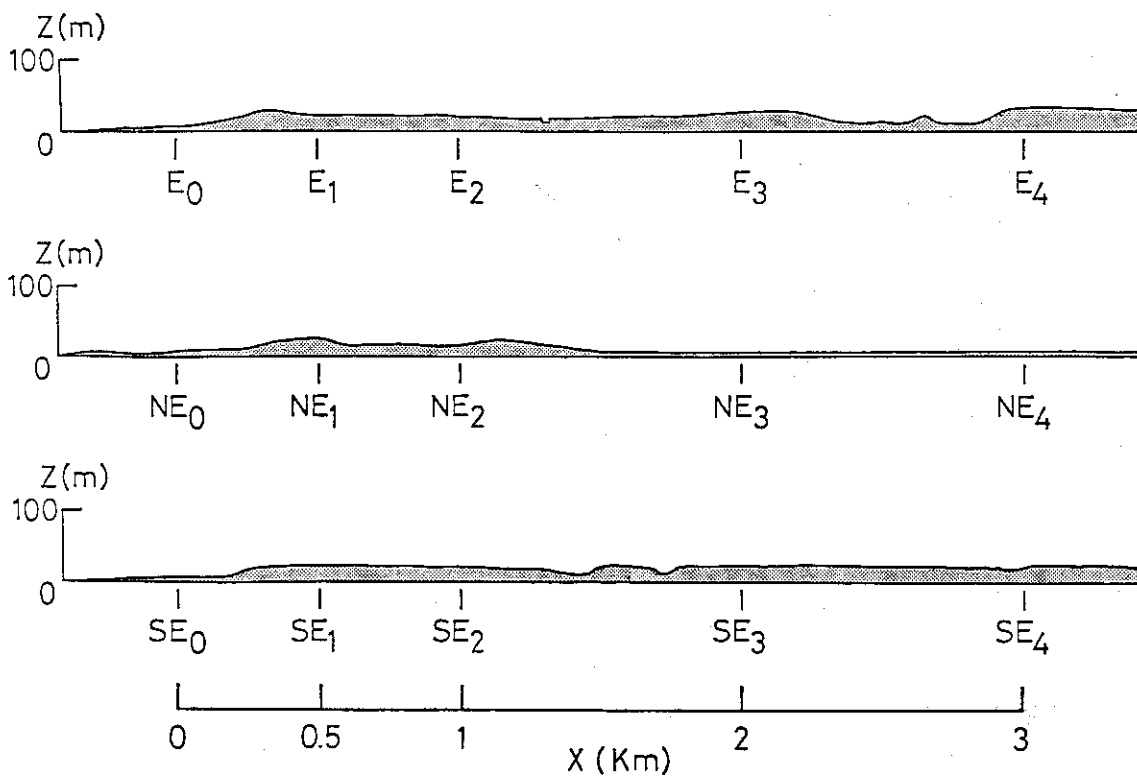
U (m/sec)	τ (sec)	$f_c(0.7)$ (Hz)	$f_c(0.9)$ (Hz)
0.5	1.2×10^{-3}	135	64
1.0	1.0×10^{-3}	155	74
2.0	8.8×10^{-4}	184	88
3.0	7.8×10^{-4}	207	99
5.0	6.7×10^{-4}	242	116



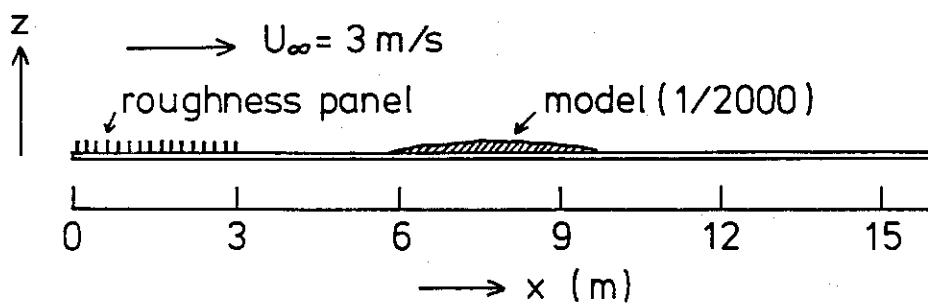
第4.1図 拡散実験の放出点源(a)と濃度測定用の吸引プローブ(b)



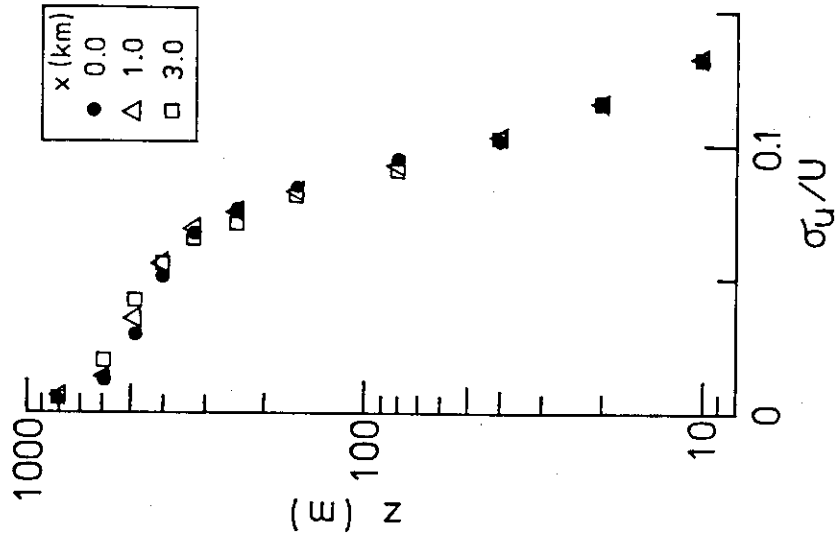
第 4.2 図 比較的平坦な地形の地形図



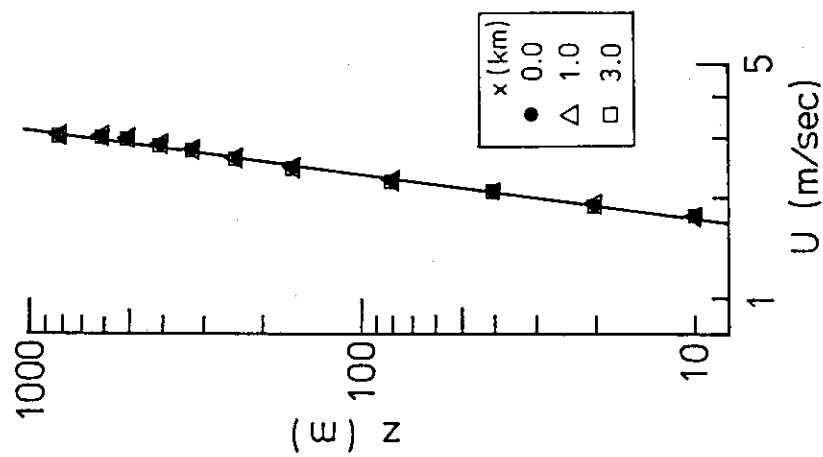
第 4.3 図 風向E, NE, SEに対する軸に沿った地形断面図



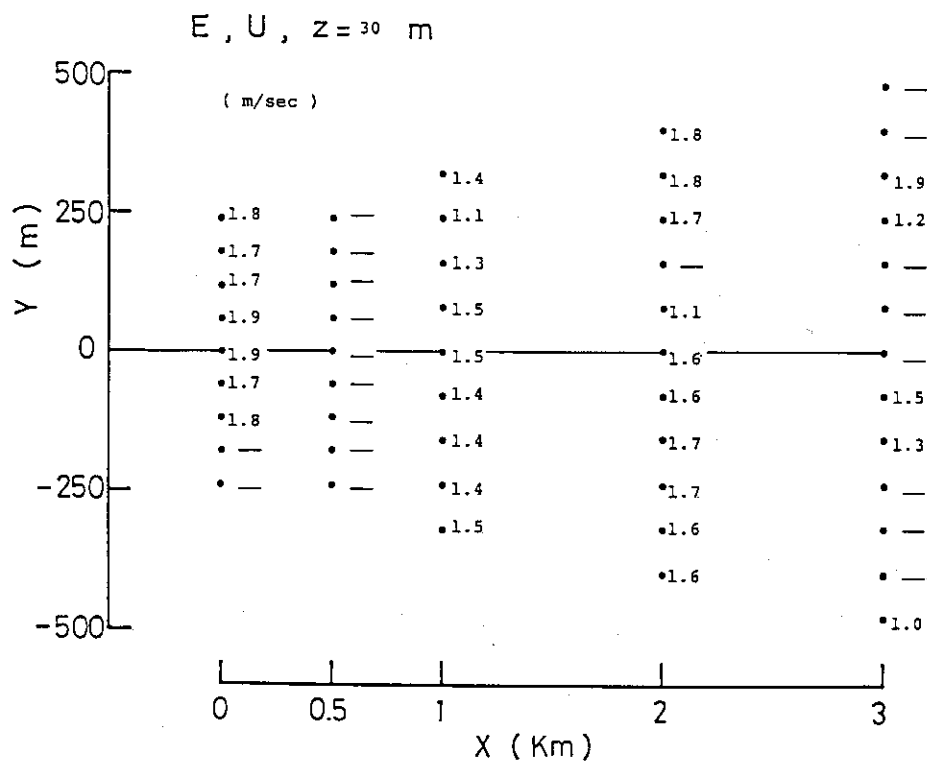
第 4.4 図 平坦地形実験の概略図



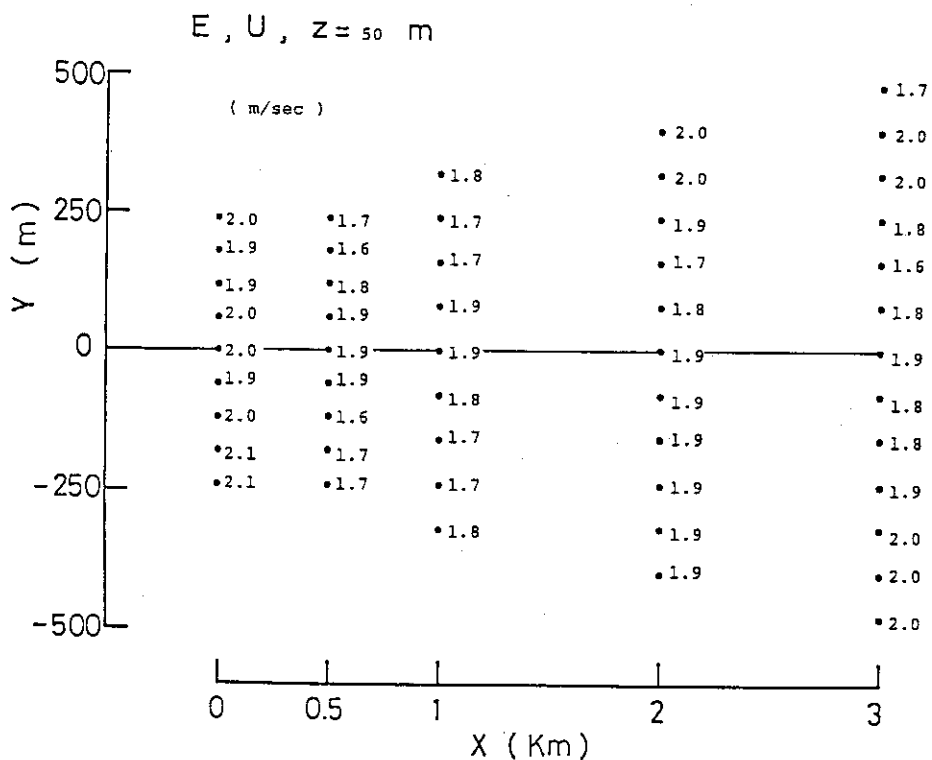
第 4.5 図(a) 平板上の平均風速分布



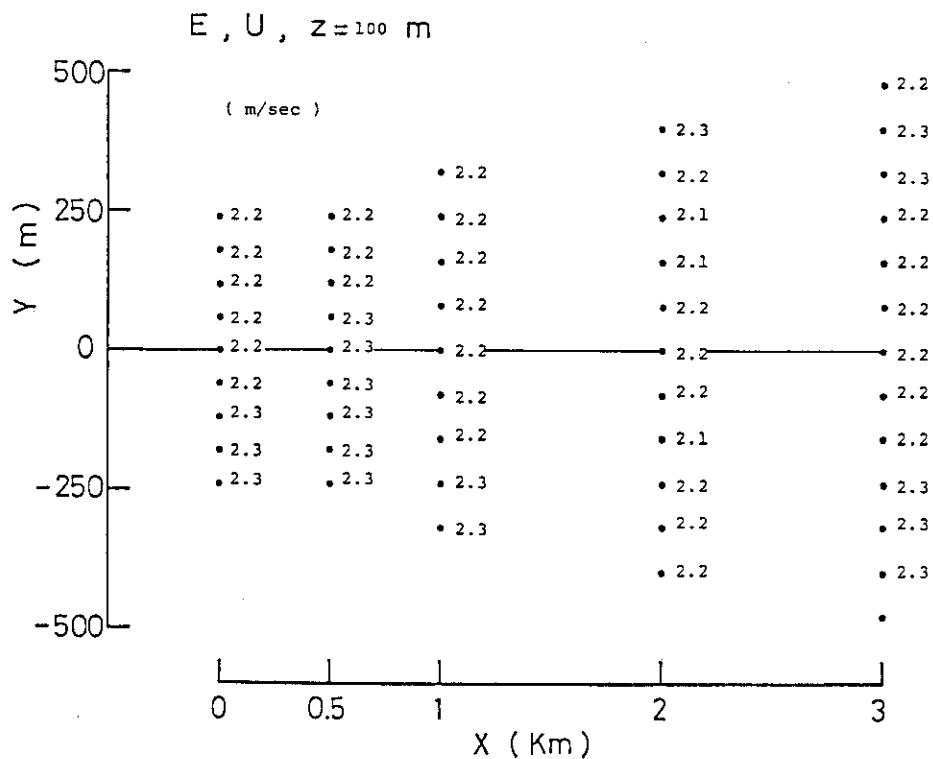
第 4.5 図(b) 平板上の σ_u の分布



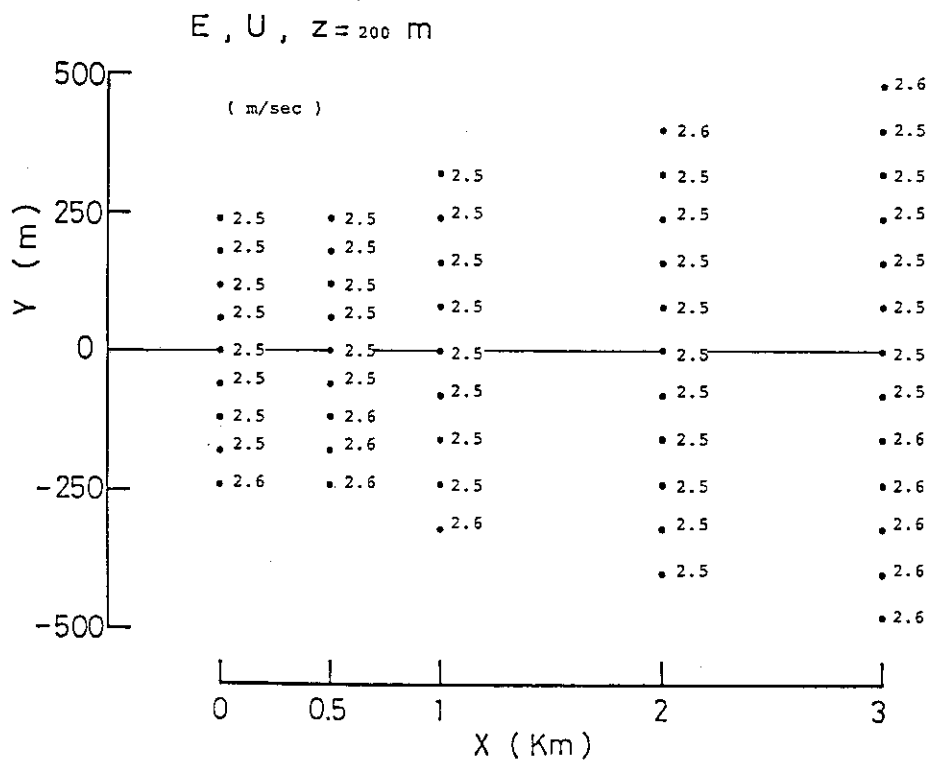
第 4.6 図(a) 風向Eに対するXY断面内平均風速分布 (Z = 30 m)



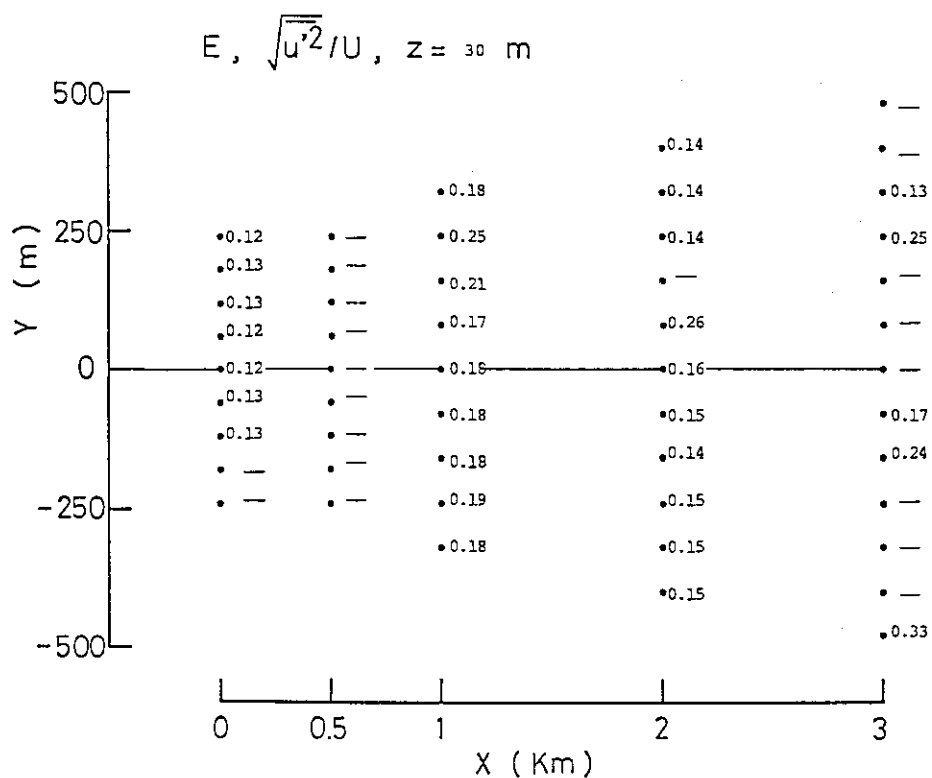
第 4.6 図(b) 風向Eに対するXY断面内平均風速分布 (Z = 50 m)



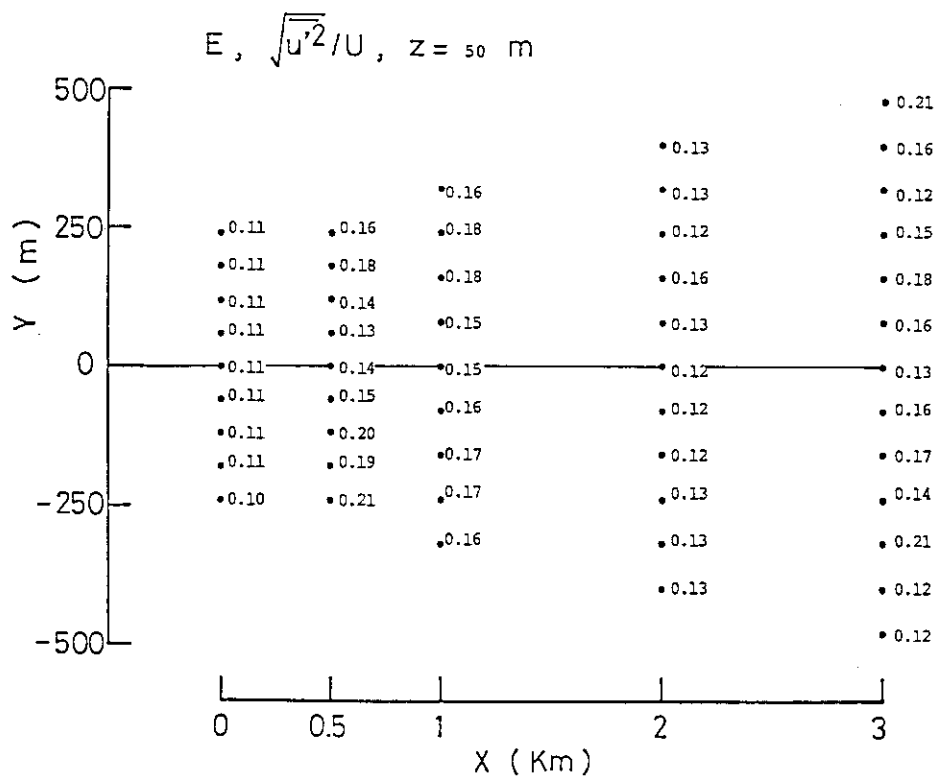
第 4.6 図(c) 風向Eに対するXY断面内平均風速分布 (Z = 100 m)



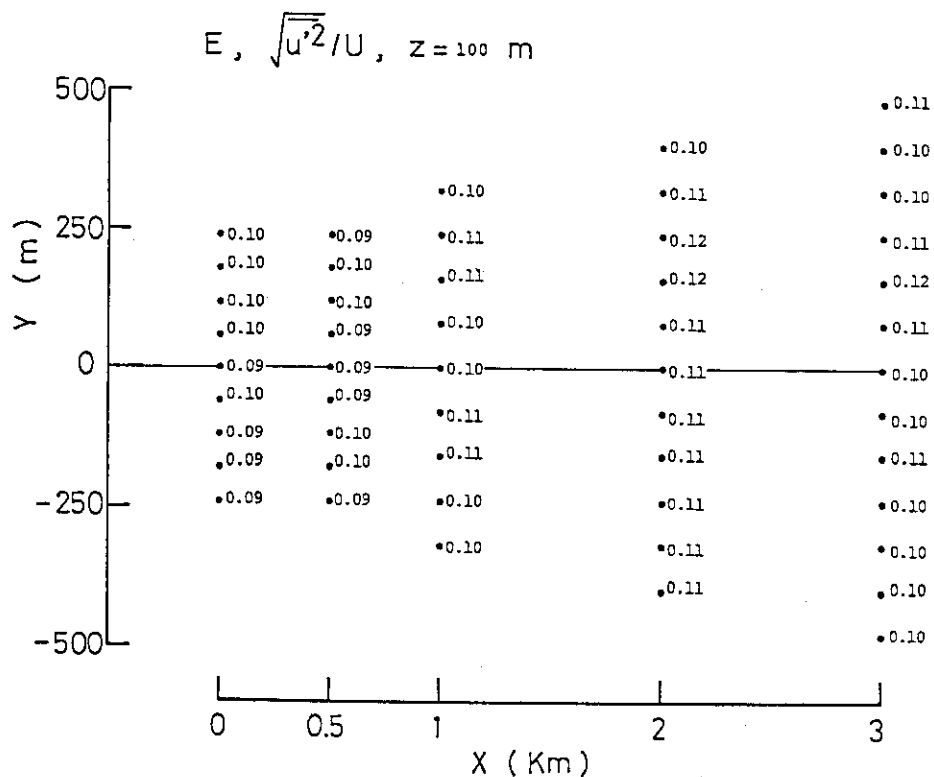
第 4.6 図(d) 風向Eに対するXY断面内平均風速分布 (Z = 200 m)



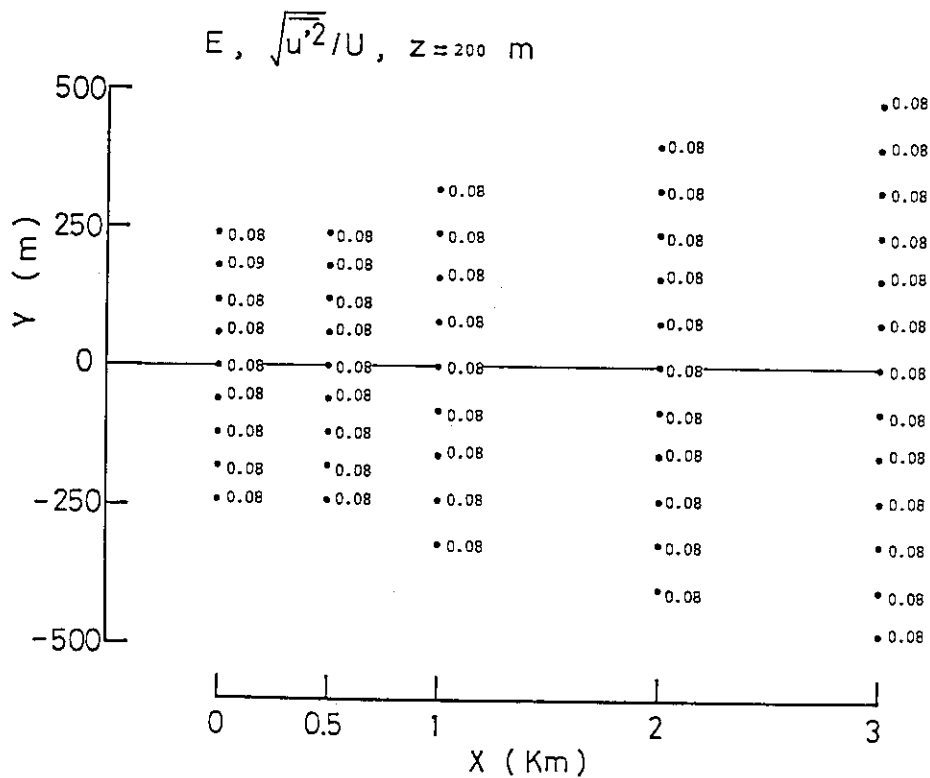
第 4.7 図(a) 風向E に対する XY 断面内乱流強度分布 (Z = 30 m)

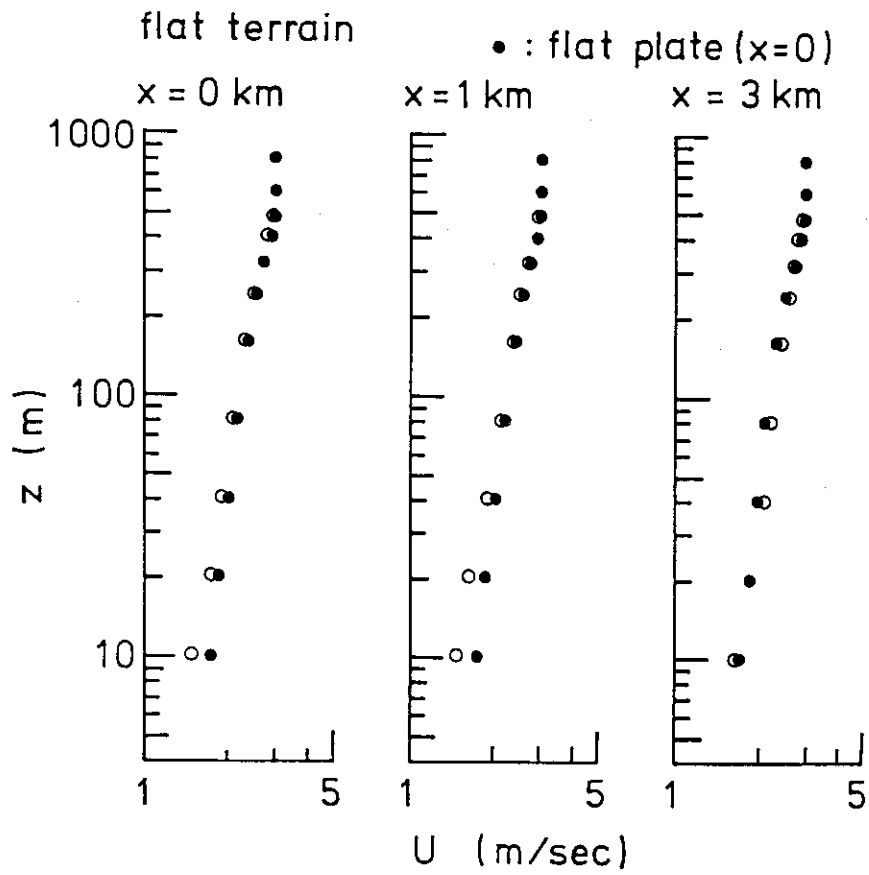


第 4.7 図(b) 風向E に対する XY 断面内乱流強度分布 (Z = 50 m)

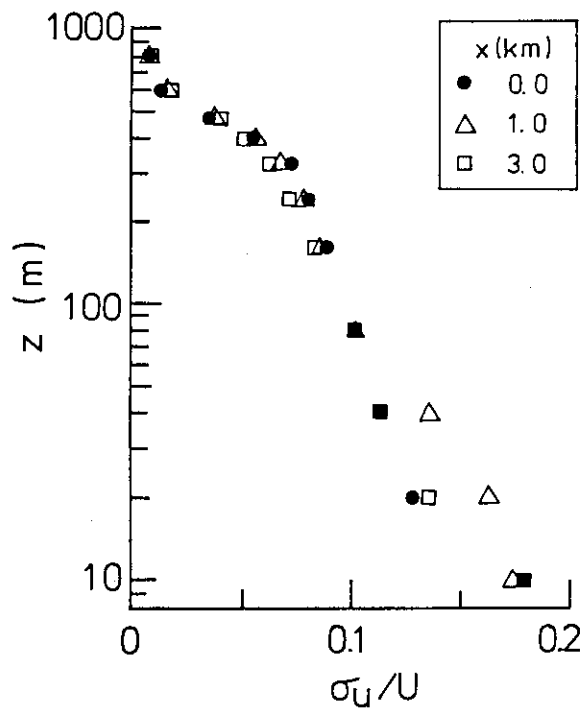


第 4.7 図(c) 風向E に対する XY 断面内乱流強度分布 (Z = 100 m)

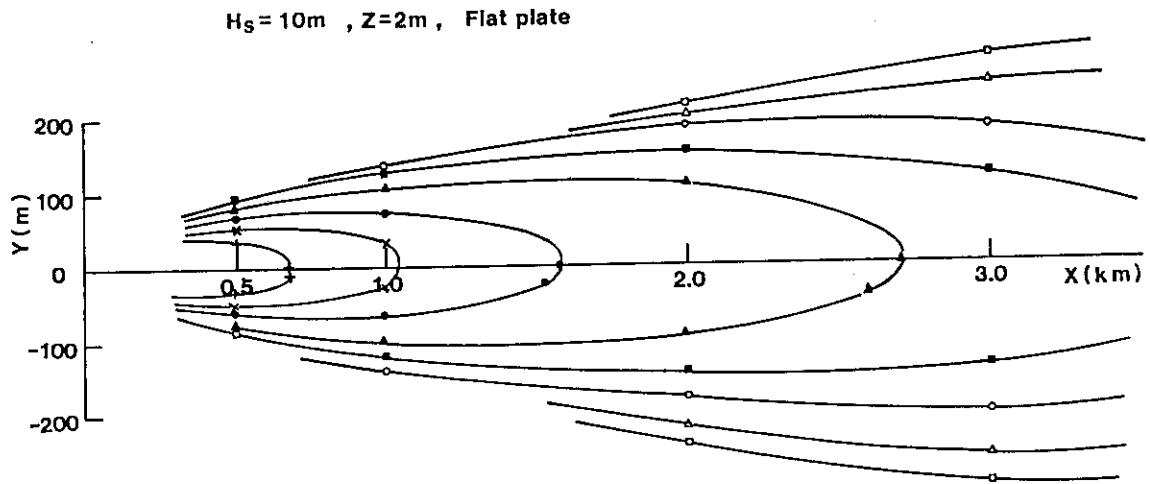
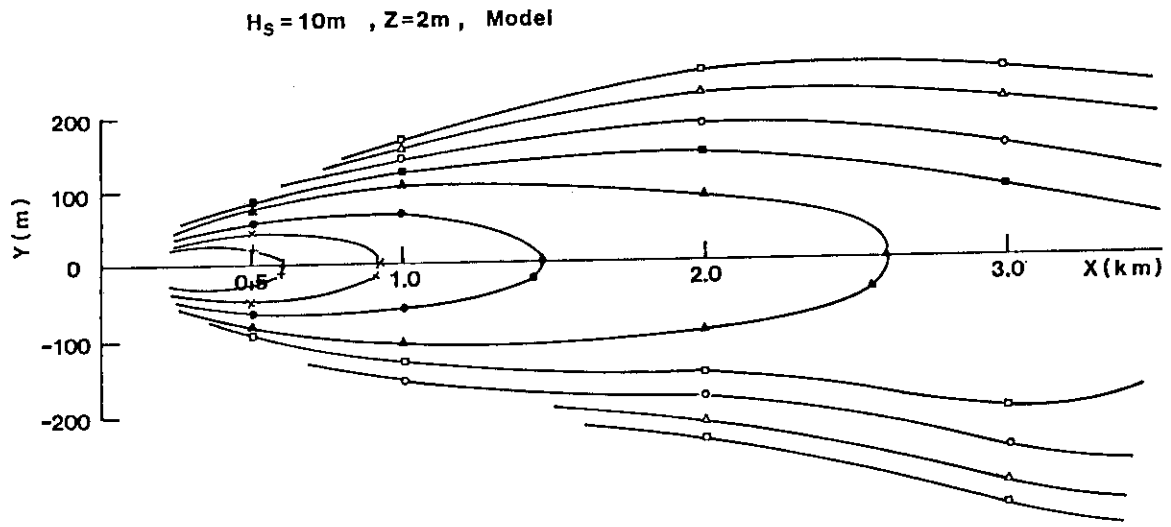




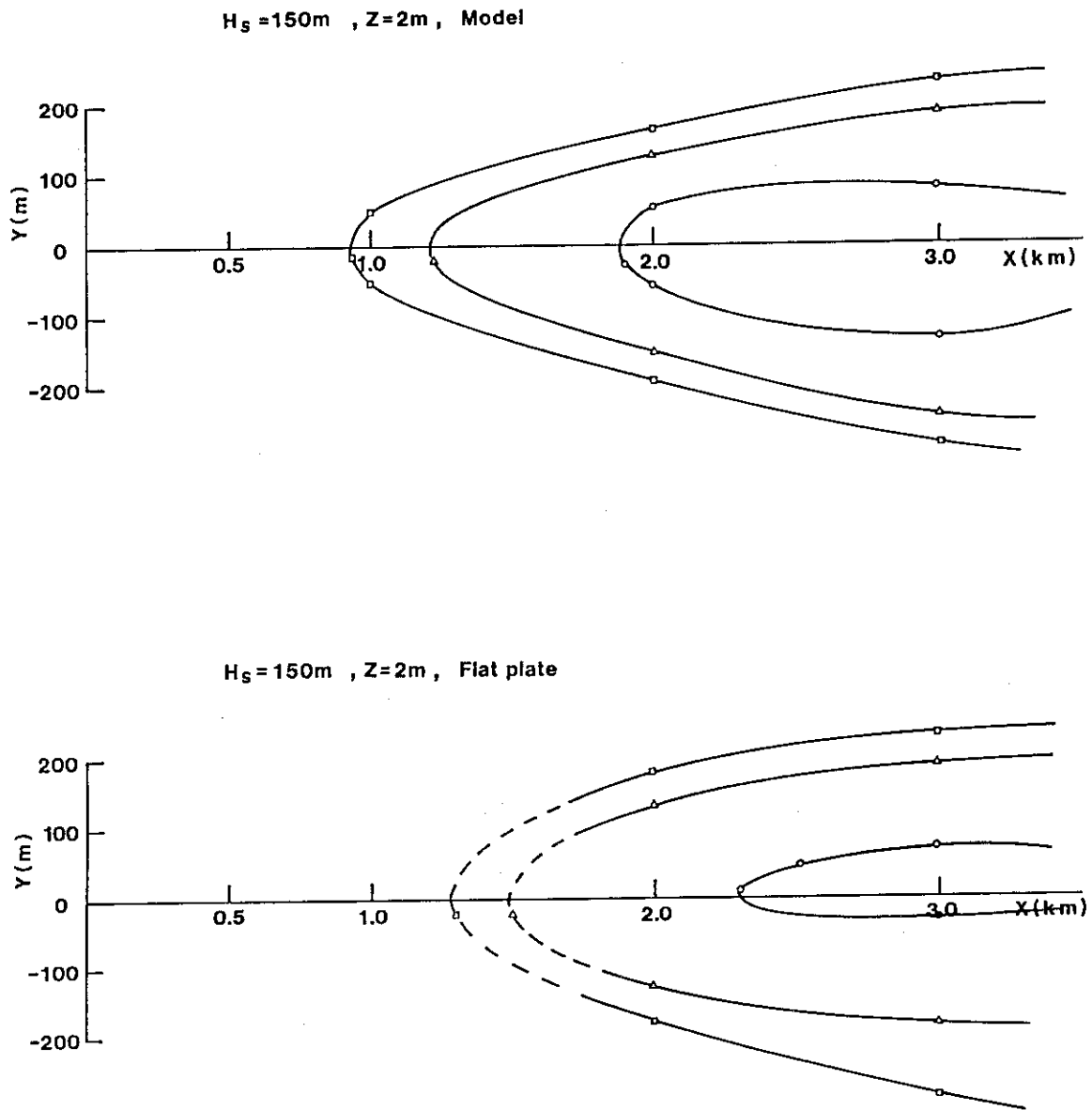
第 4.8 図(a) 平坦地形の主軸上 (風向 E) の平均風速分布



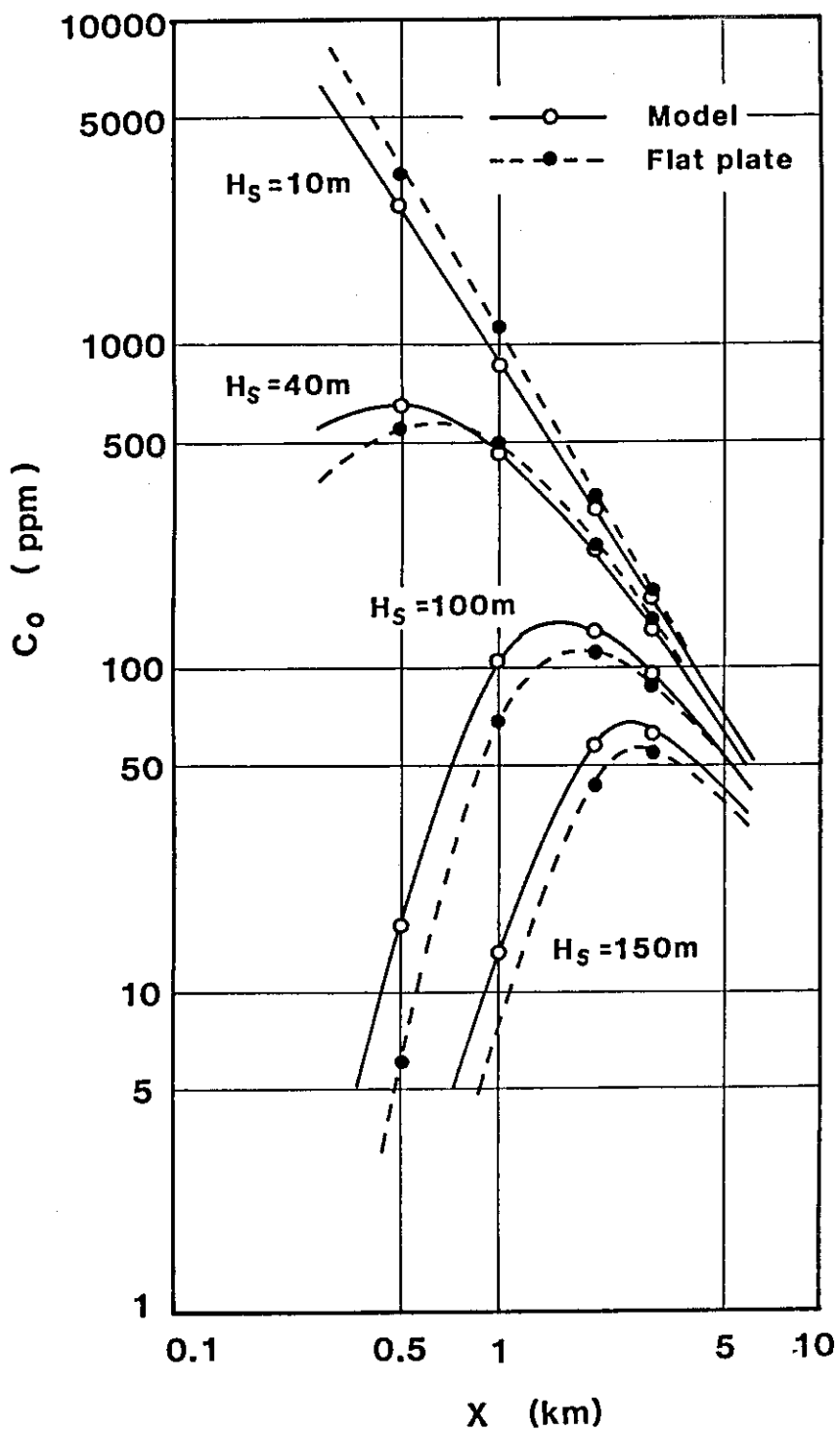
第 4.8 図(b) 平坦地形の主軸上の σ_U/U の分布



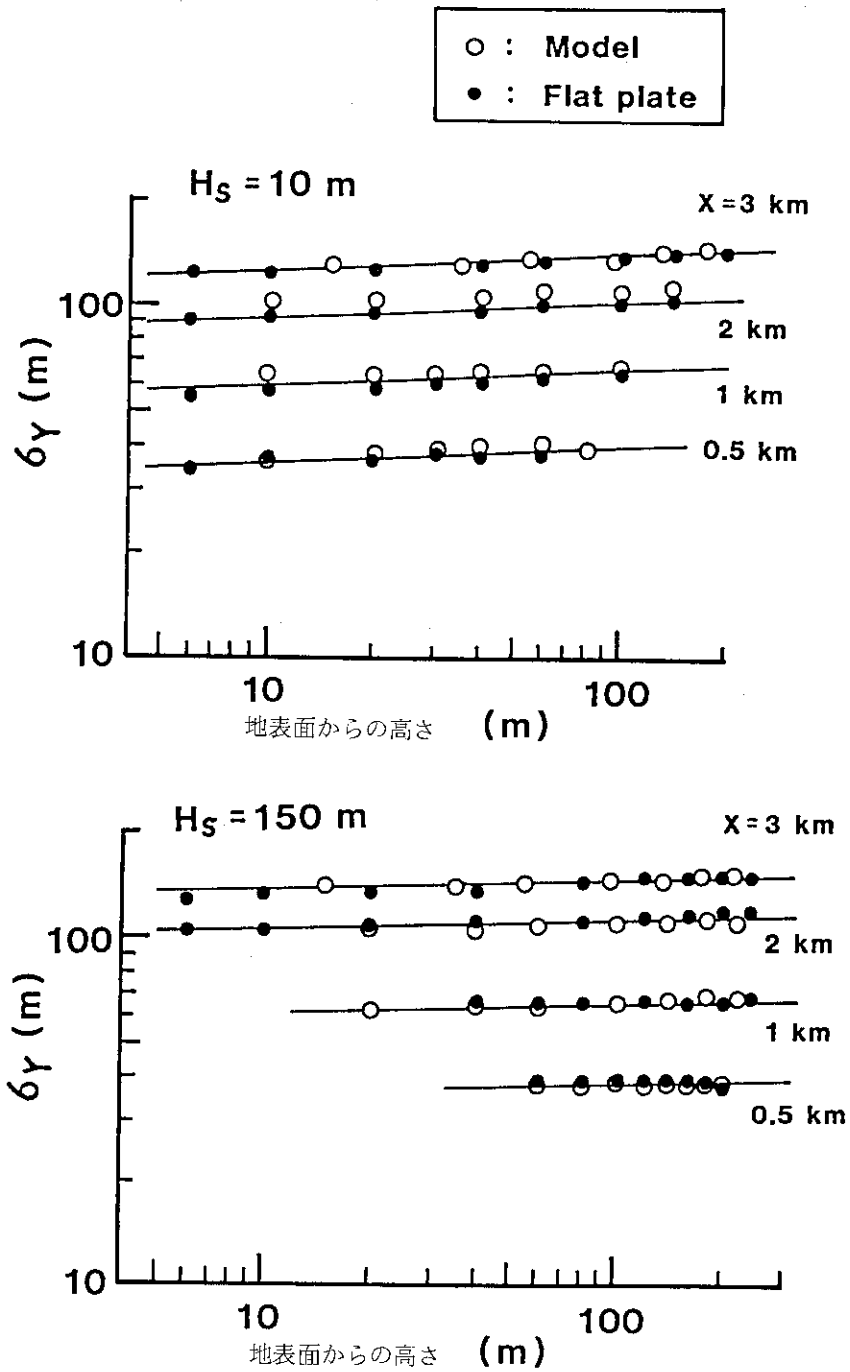
第 4.9 図 平担地形上と平板上における地上等濃度線図 ($H_s = 10\text{m}$)



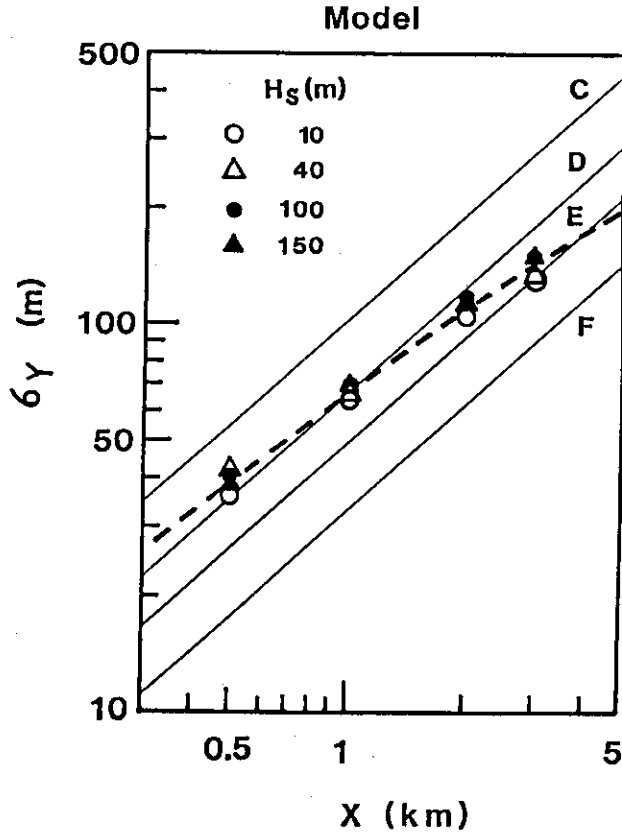
第4.10図 平坦地形上と平板上における地上等濃度線図 ($H_s = 150\text{ m}$)



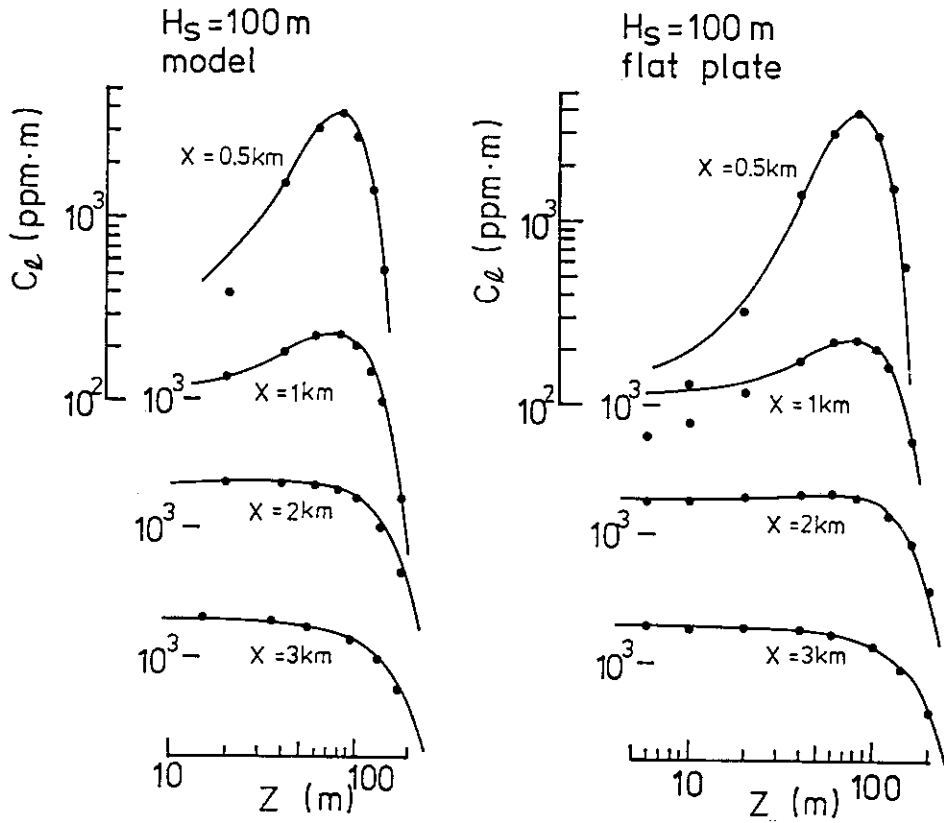
第4.11図 平坦地形上と平板上における煙軸地上濃度分布



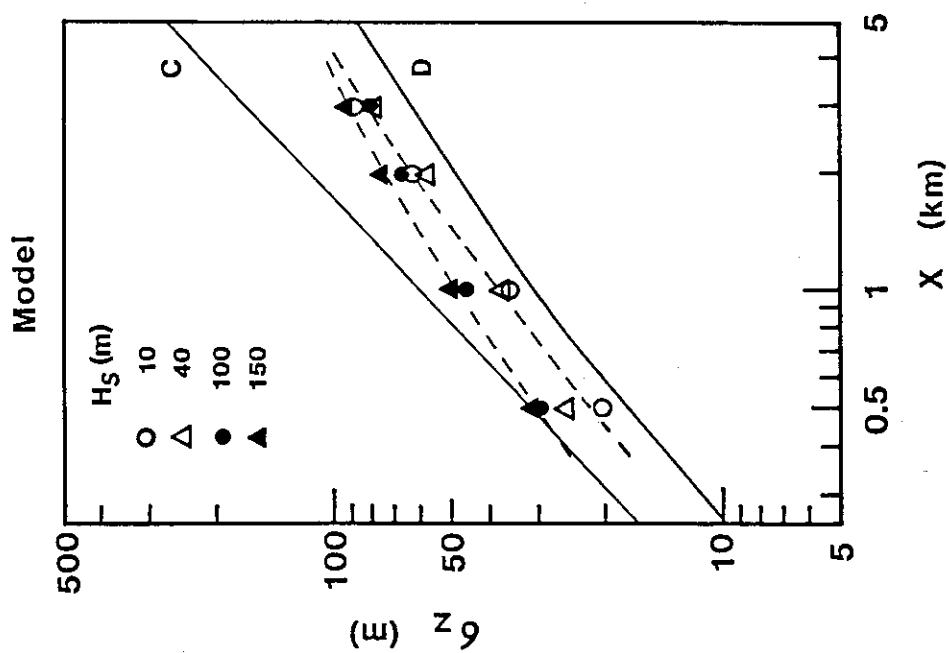
第4.12図 平坦地形上と平板上における σ_y の高さ方向の分布 ($H_s = 10$ m, 150 m)



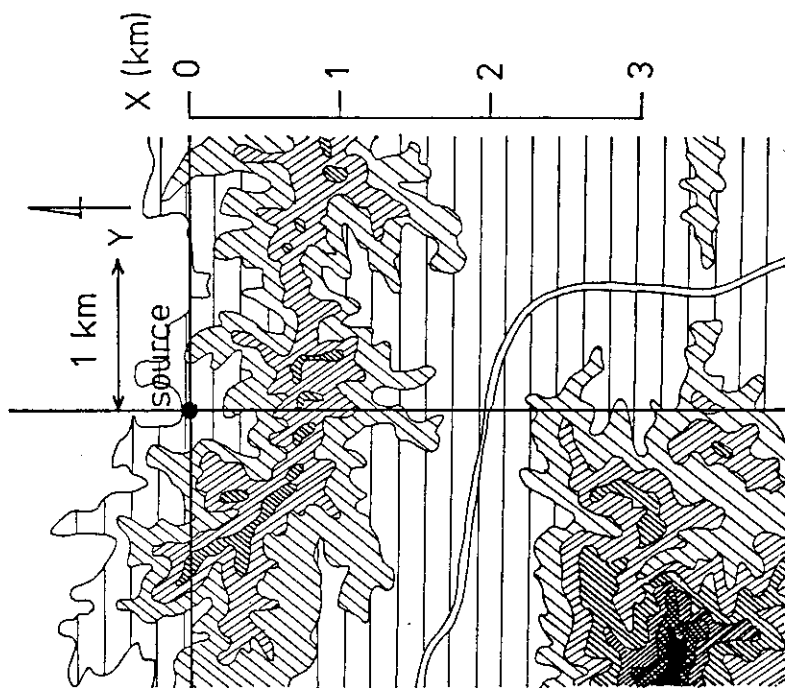
第4.13図 平坦地形上における放射源高さでの σ_Y のX方向の分布



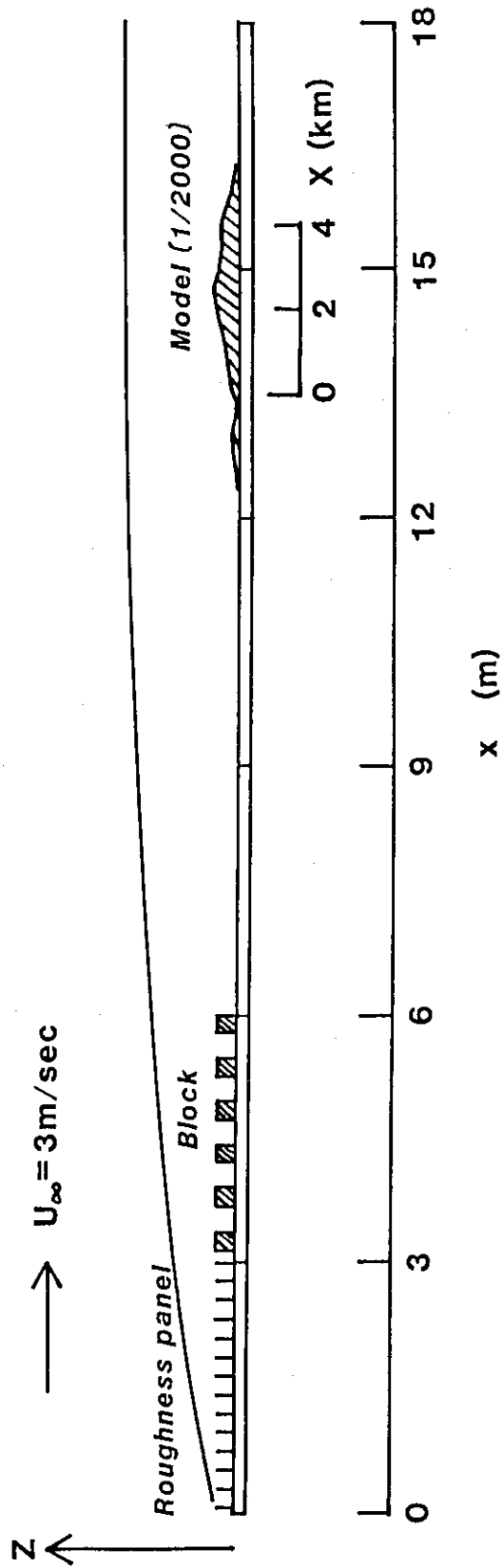
第4.14図 平坦地形上と平板上における鉛直濃度分布例 ($H_S = 100$ m)



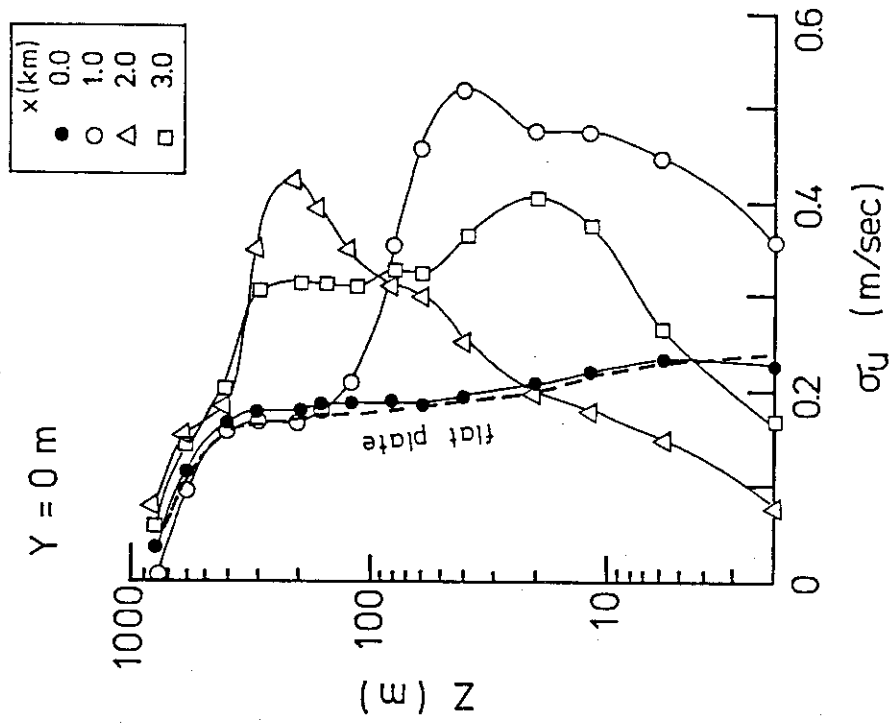
第4.15図 平坦地形上における σ_z のX方向の分布
破線は測定値にフィットさせたもの。



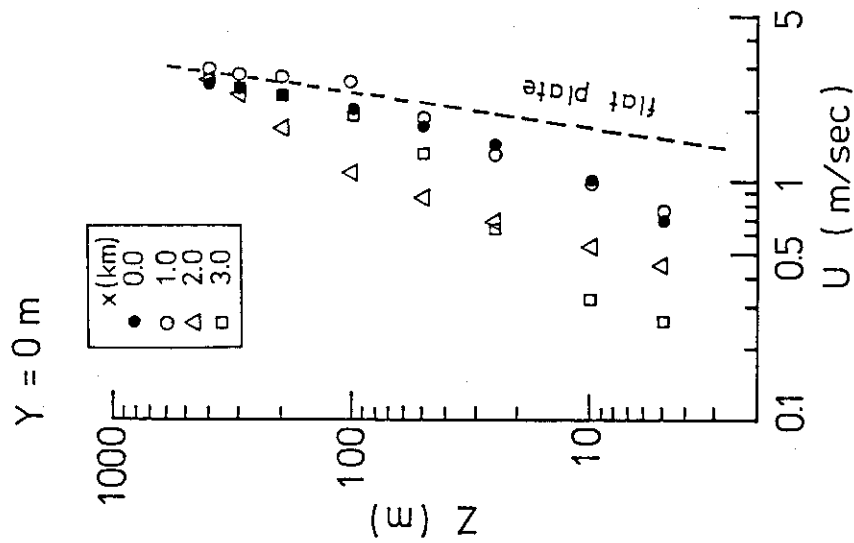
第4.16図 複雑地形の概略図



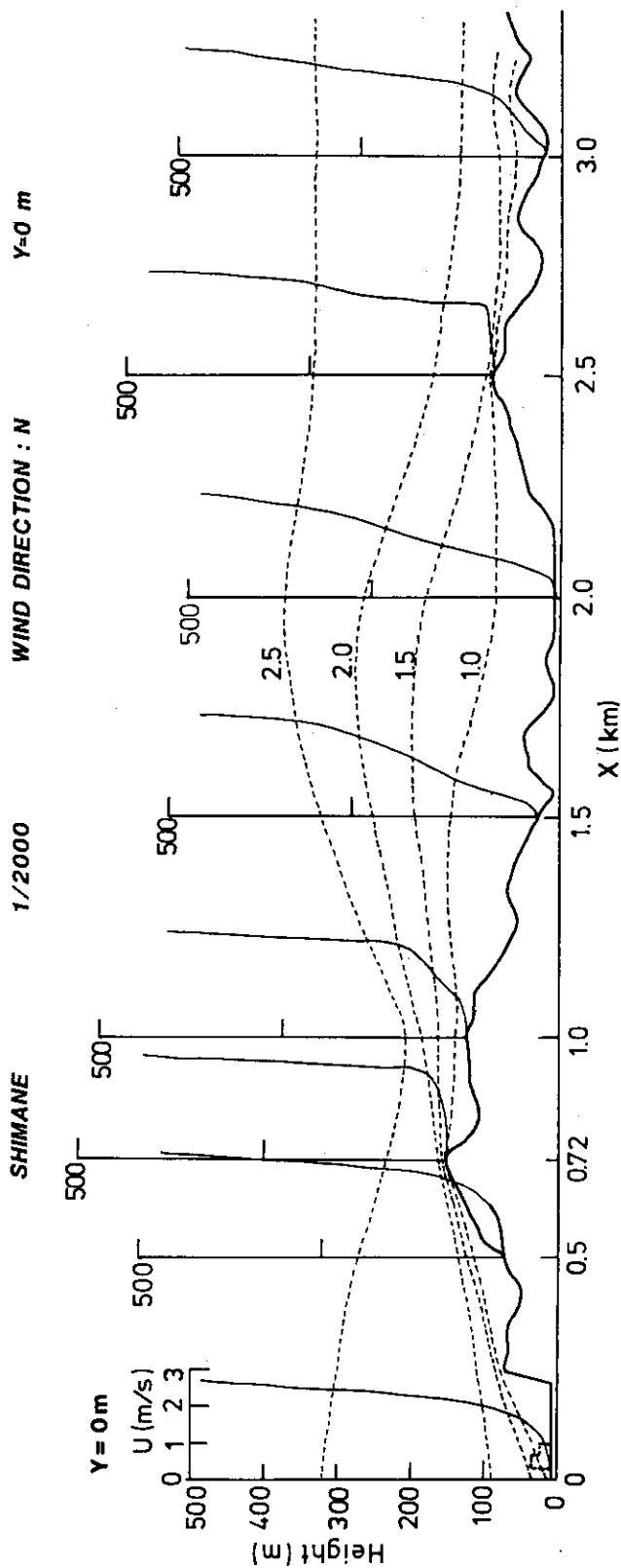
第4.17図 複雑地形上の実験概略図



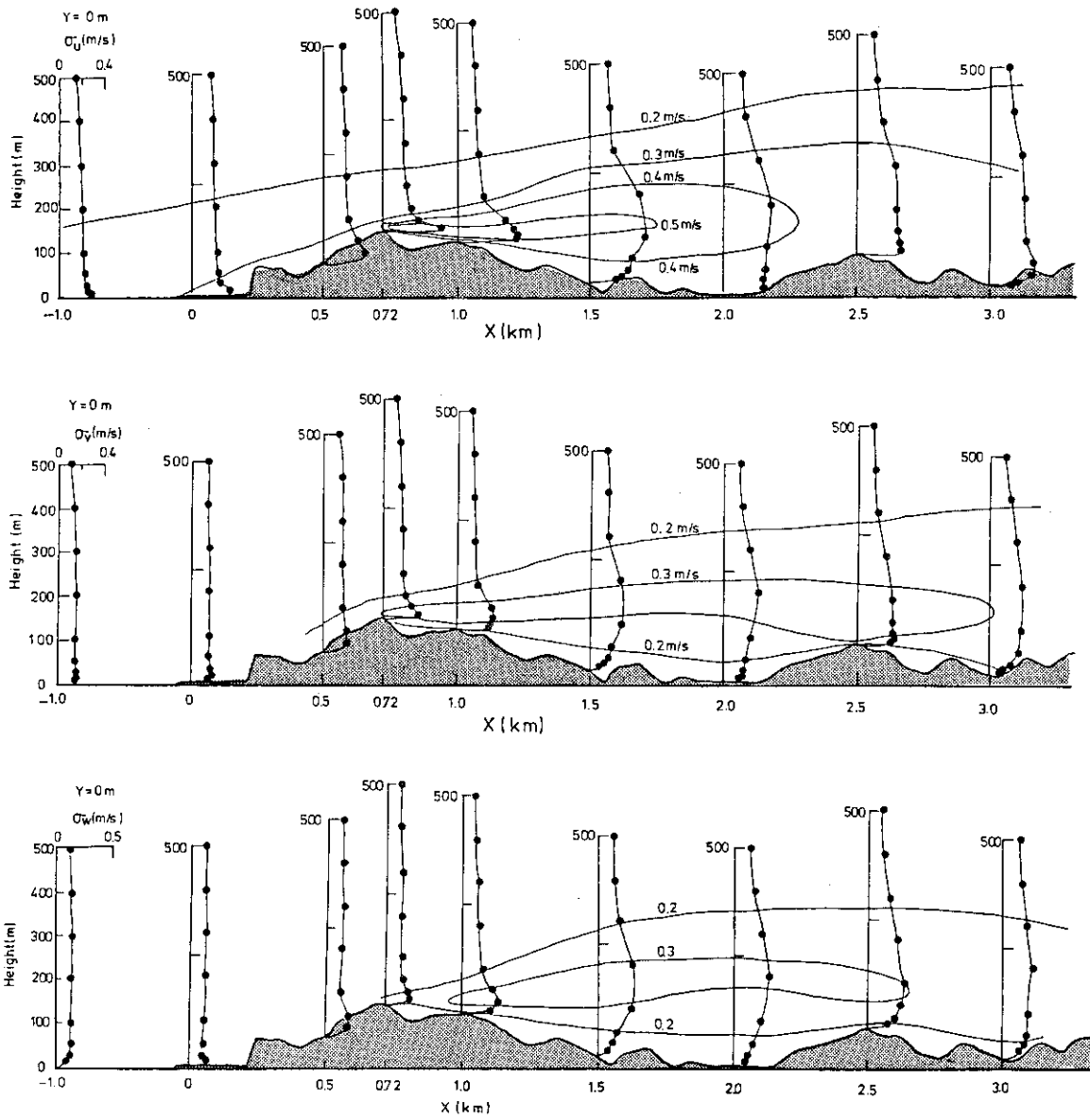
第4.18図(b) 複雑地形, 主軸上の σ_u の鉛直分布



第4.18図(a) 複雑地形, 主軸上のUの鉛直分布

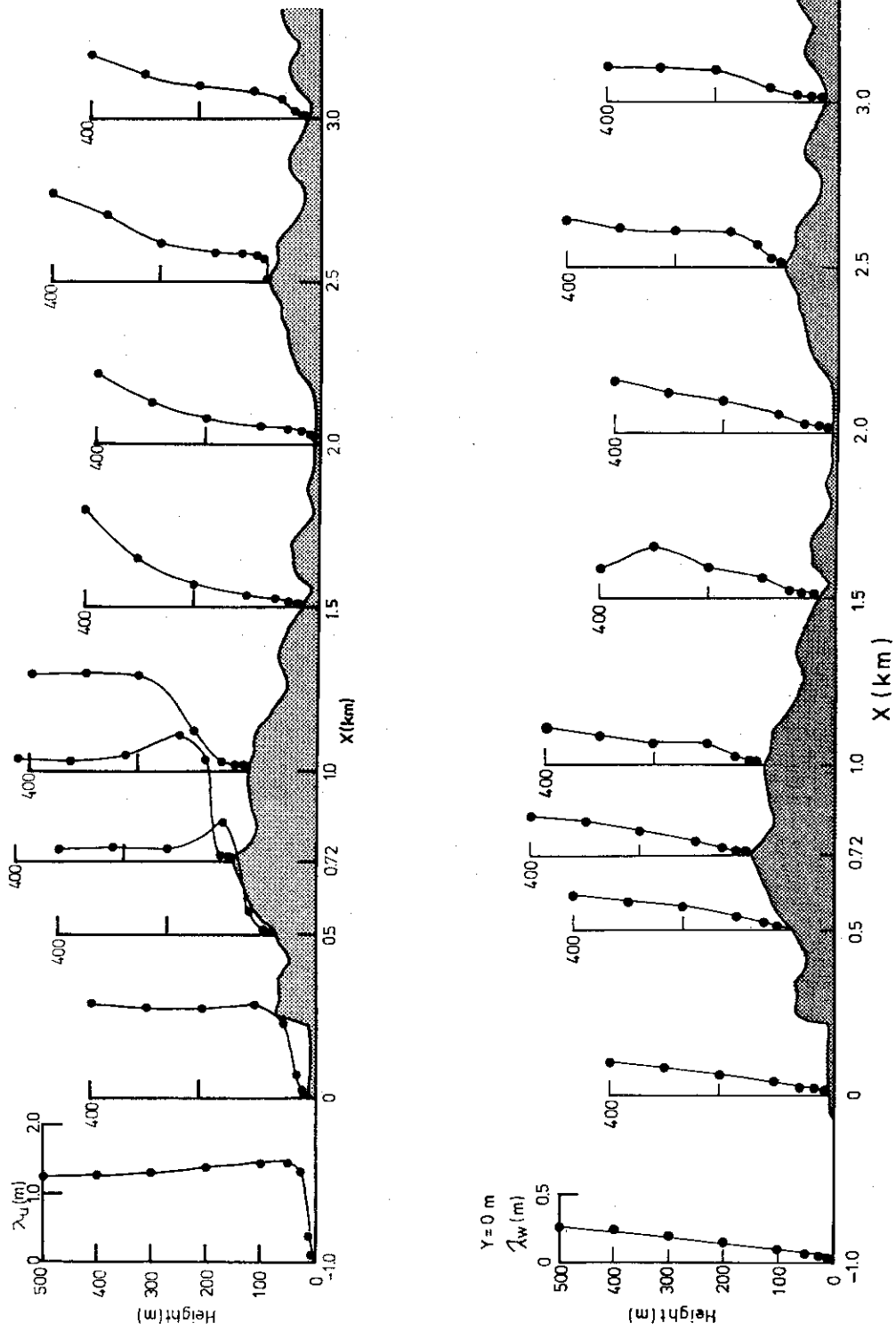


第4.19図 複雑地形、主軸上における平均風速のプロファイル (Y=0)

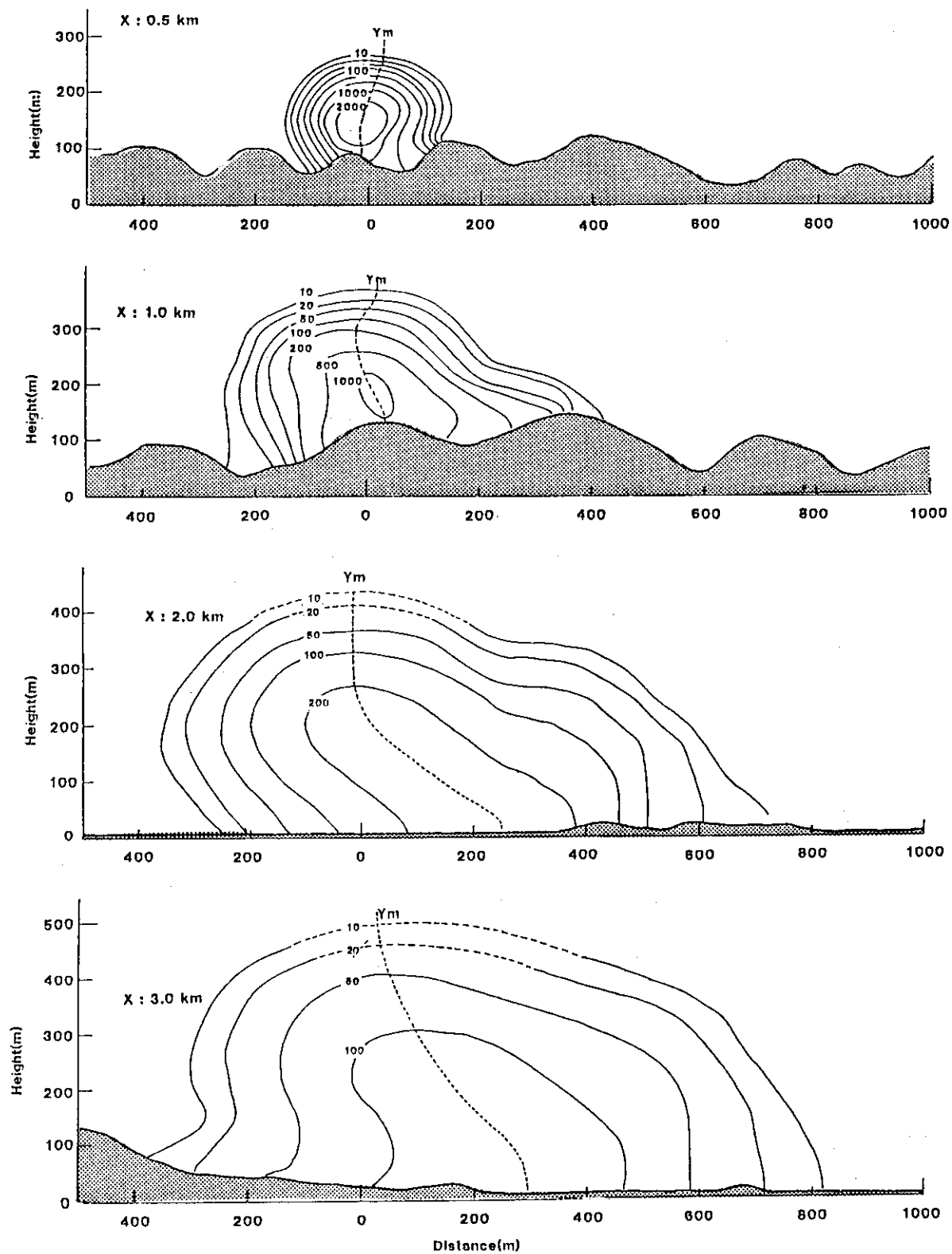


第4.20図 複雑地形，主軸上における σ_u ， σ_v ， σ_w のプロファイル (Y=0)

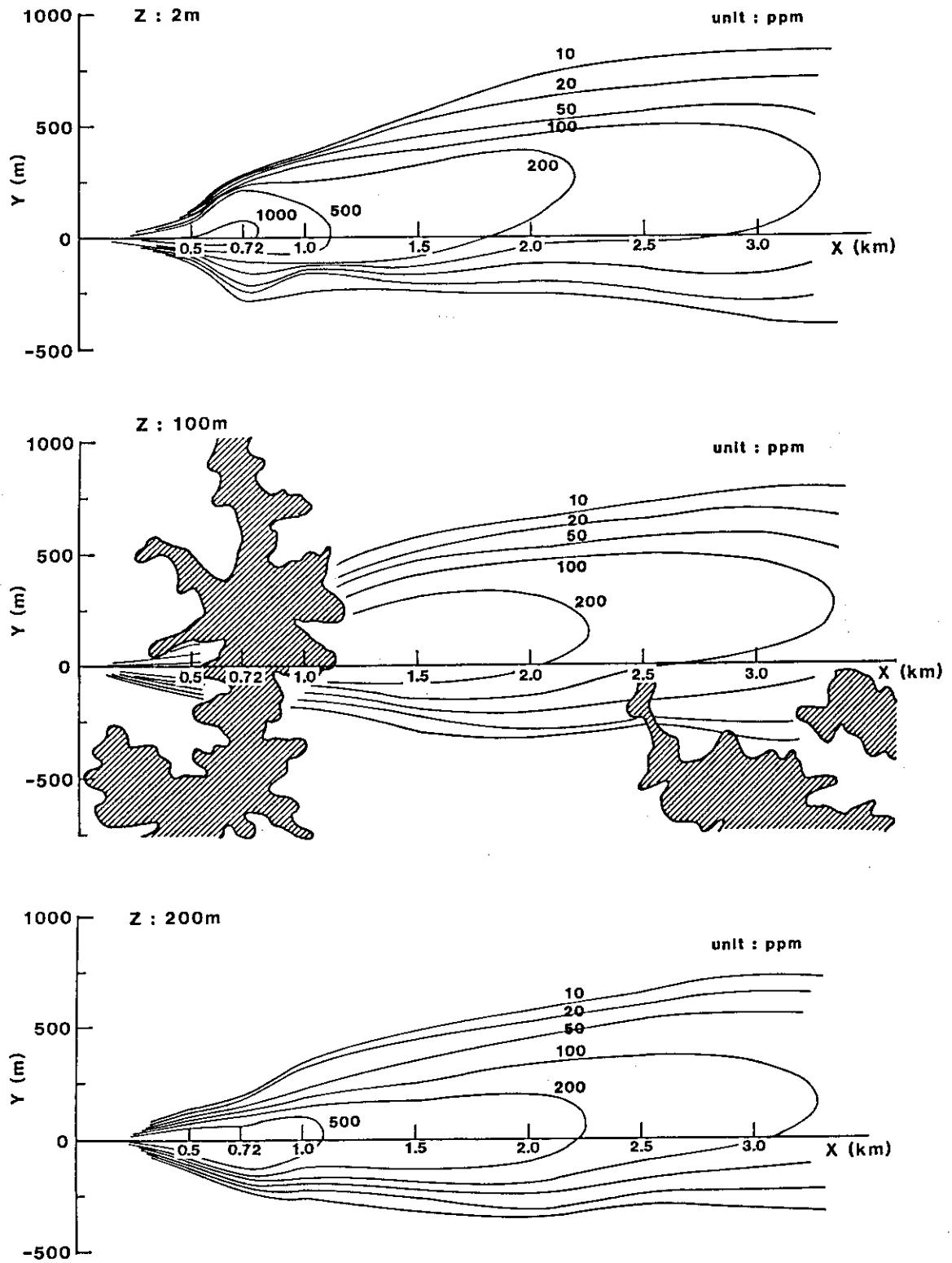
Shimane



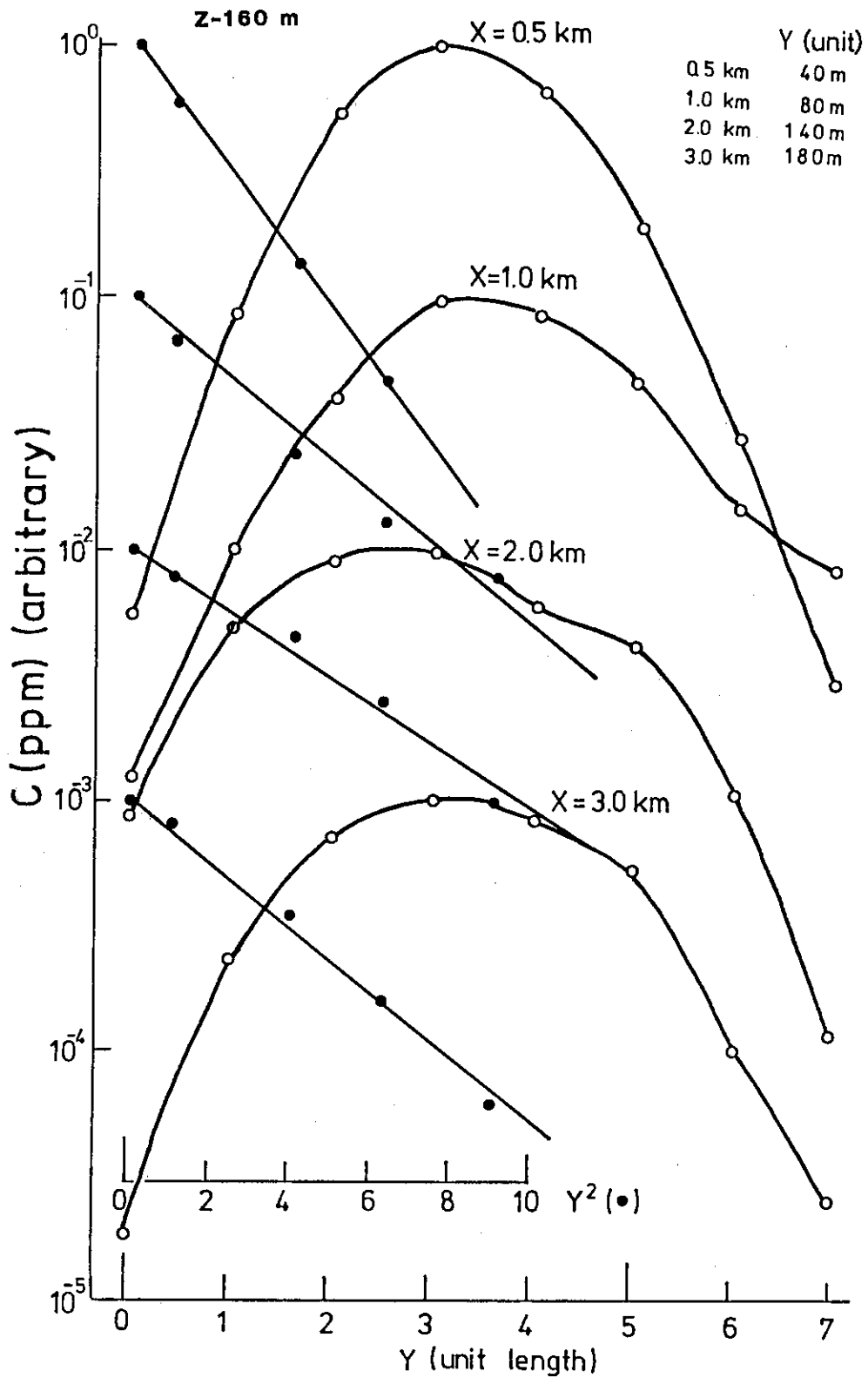
第4.21図 スペクトルスケール λ_u と λ_w のプロファイル



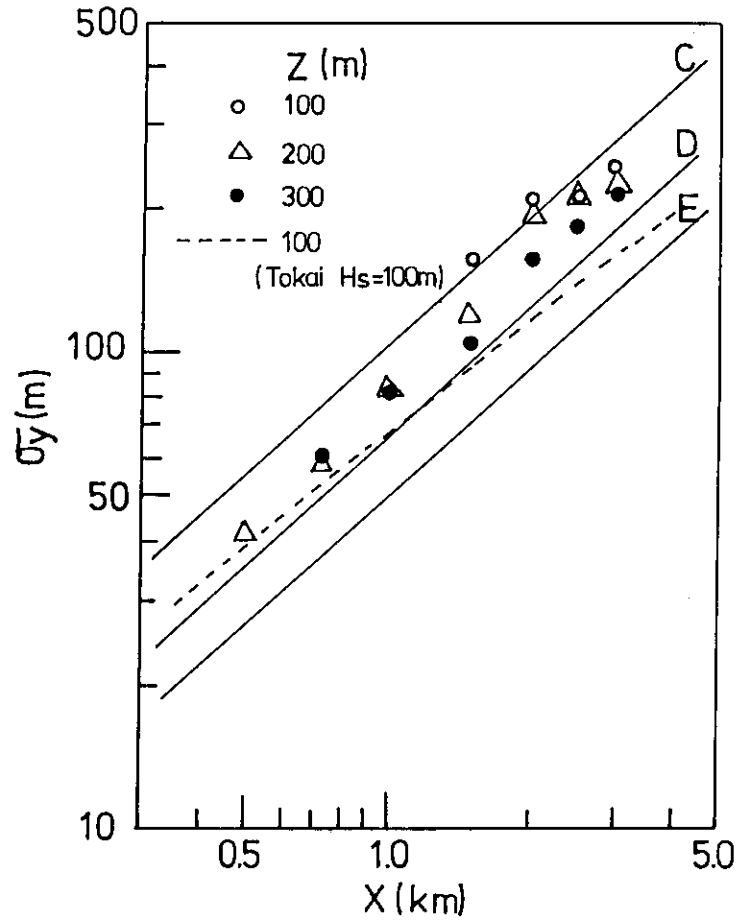
第4.22図 複雑地形，各風下距離YZ断面における等濃度線図 ($H_s = 100$ m)



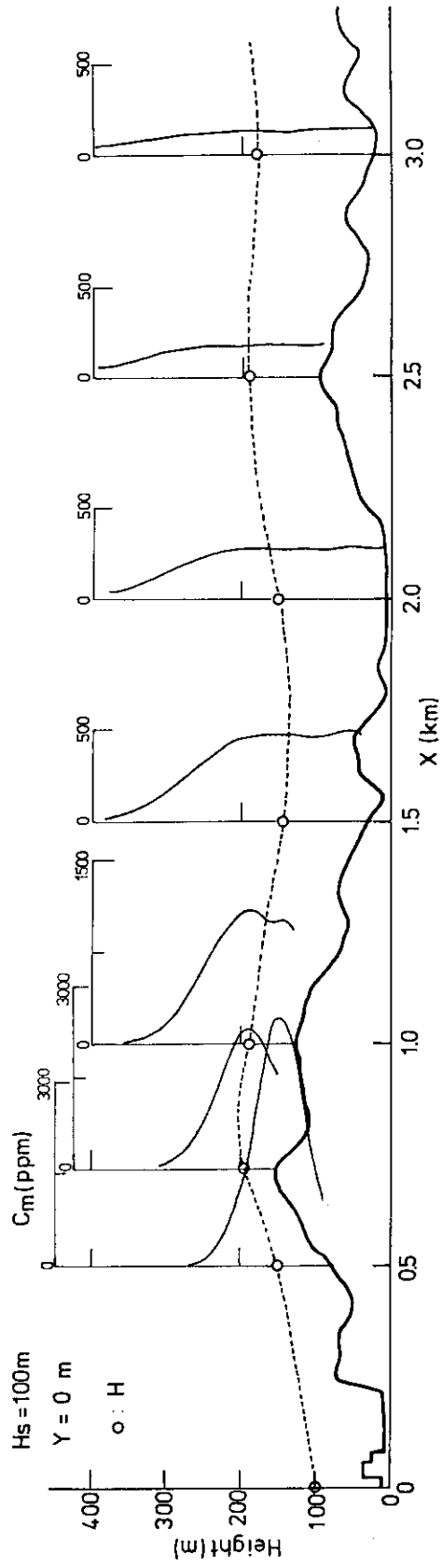
第4.23図 複雑地形, $Z = 2\text{m}$, 標高 100m , 200m の XY 断面における等濃度線図
($H_s = 100\text{m}$)



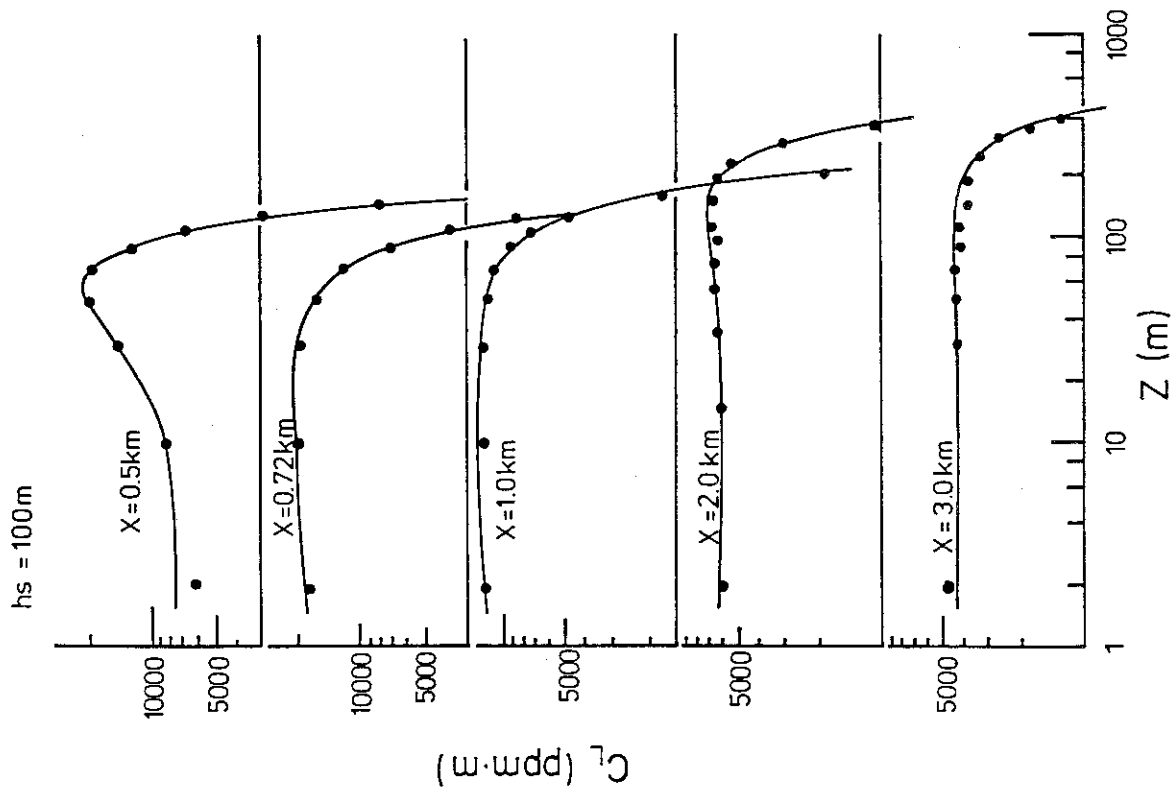
第4.24図 複雑地形、標高 Z = 160 m での横方向濃度分布 (H_s = 100 m)



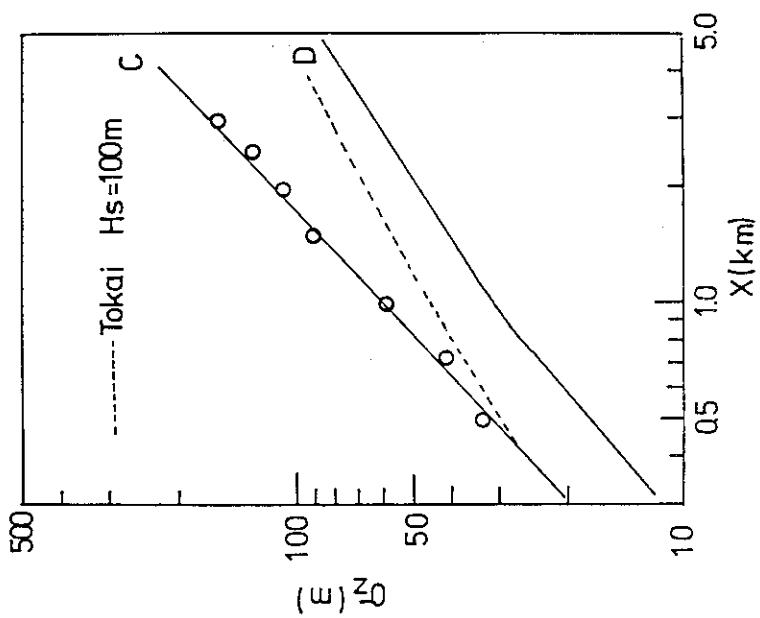
第4.25図 複雑地形，横方向拡散幅 σ_y の X 方向の分布 ($H_s = 100 m$)



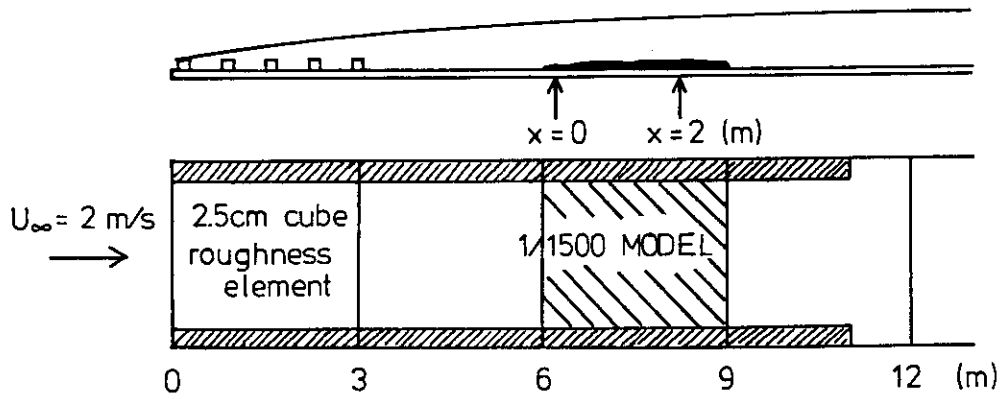
第4.26図 複雑地形，煙軸最大濃度 C_m のプロファイル ($H_s = 100\text{ m}$)



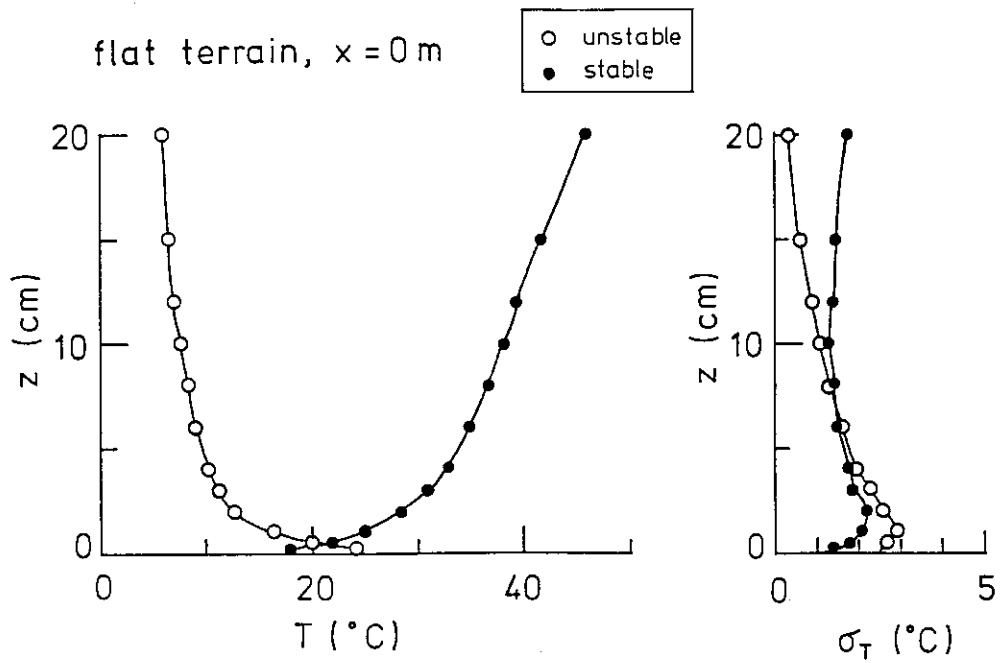
第4.27図 複雑地形，鉛直方向の濃度分布 ($H_s = 100$ m)



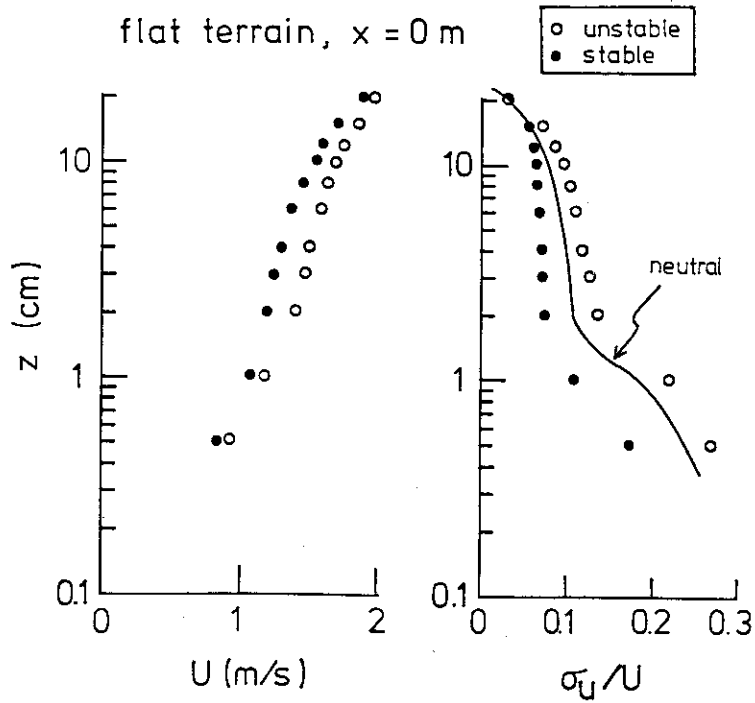
第4.28図 複雑地形，鉛直方向拡散幅 σ_z の X 方向の分布 ($H_s = 100$ m)



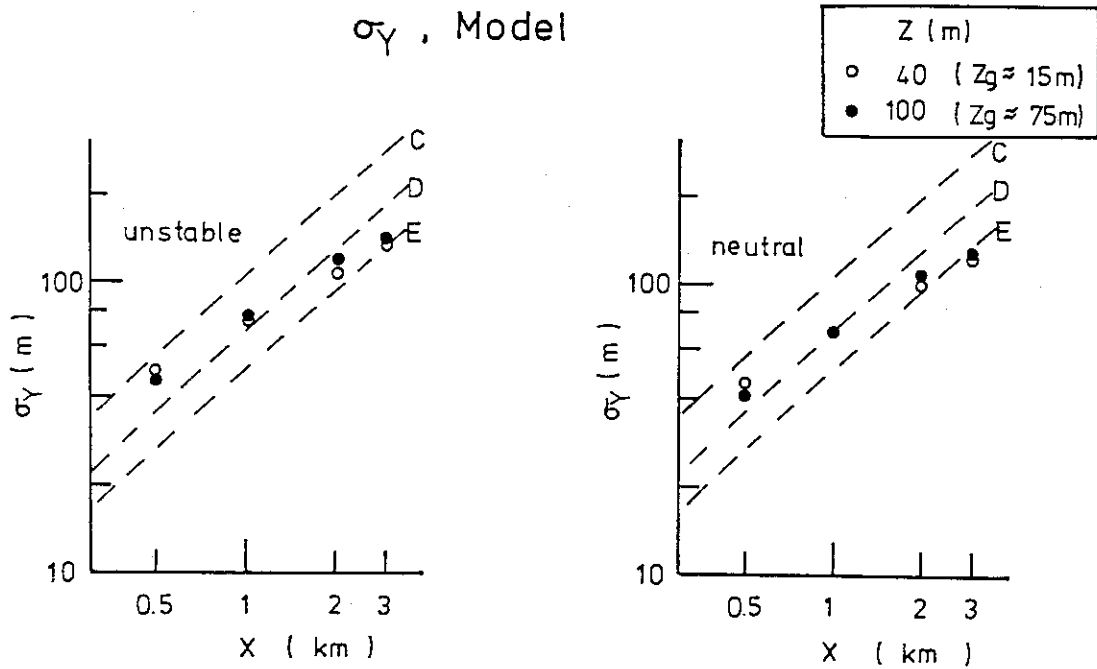
第 4.29 図 温度成層内における実験の概略図



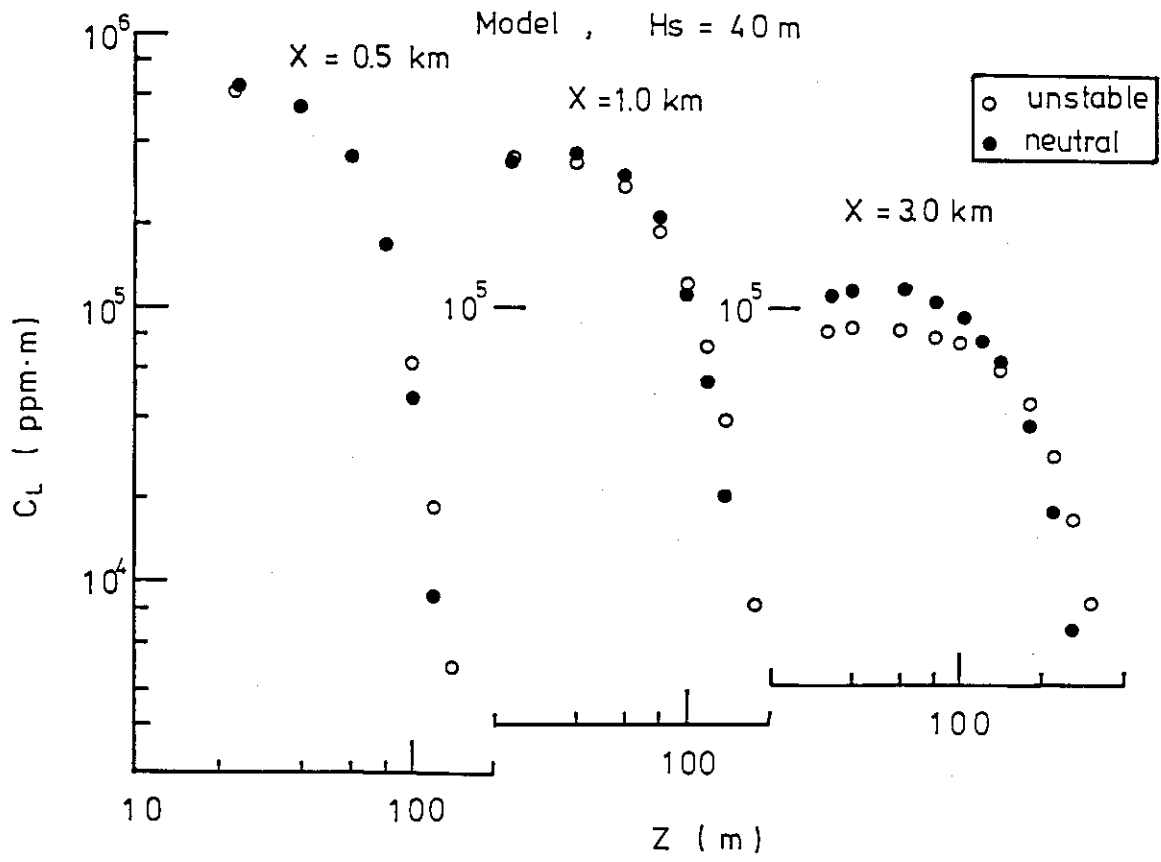
第 4.30 図 温度 T と変動温度の標準偏差 σ_T の鉛直分布



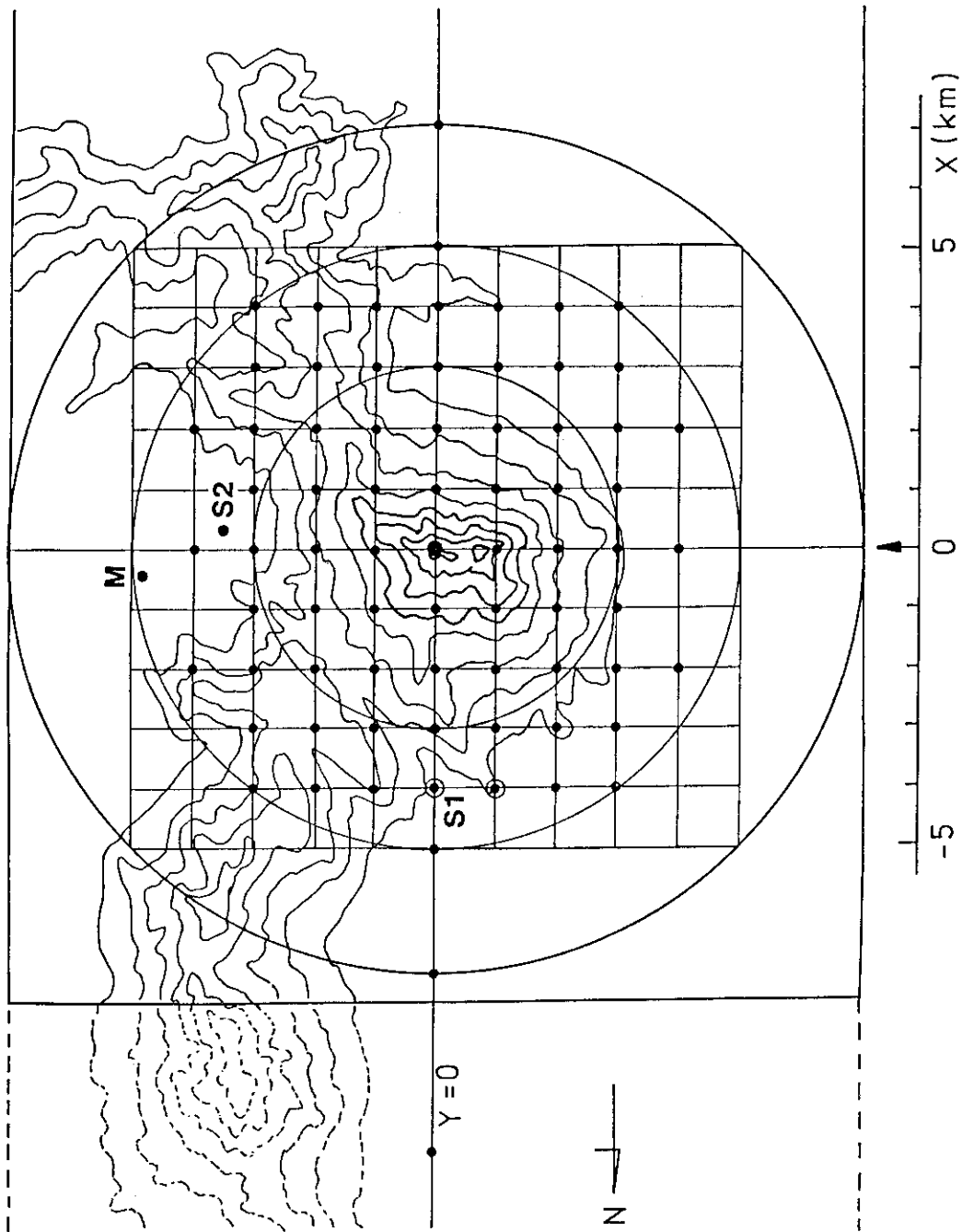
第4.31図 平坦地形上，平均風速と乱流強度の分布 ($x = 0 \text{ m}$)。実線は中立状態の実験値から得た結果。



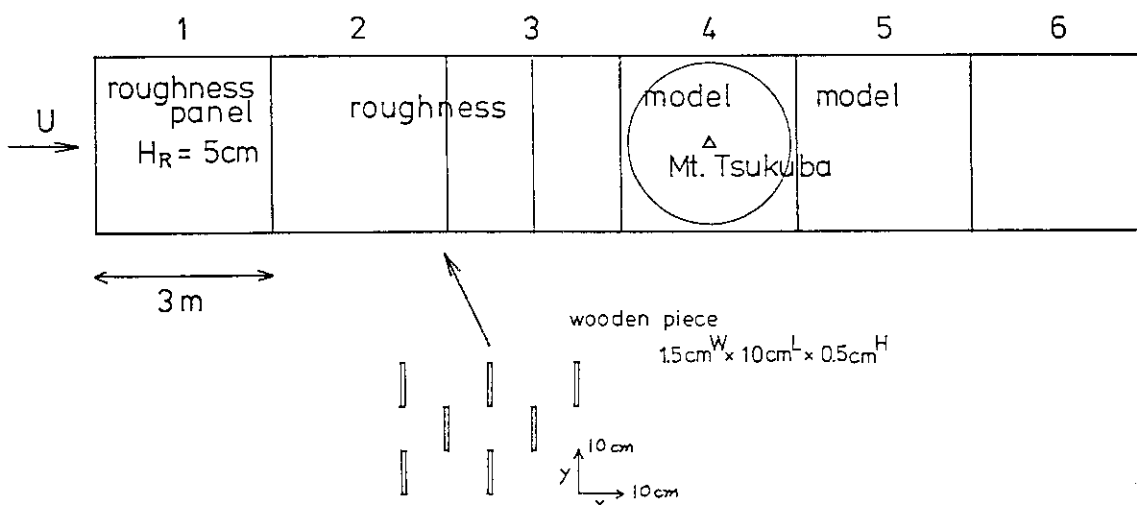
第4.32図 不安定成層と中立成層における， σ_Y のX方向の変化 (Z_g は地表からの高さ)



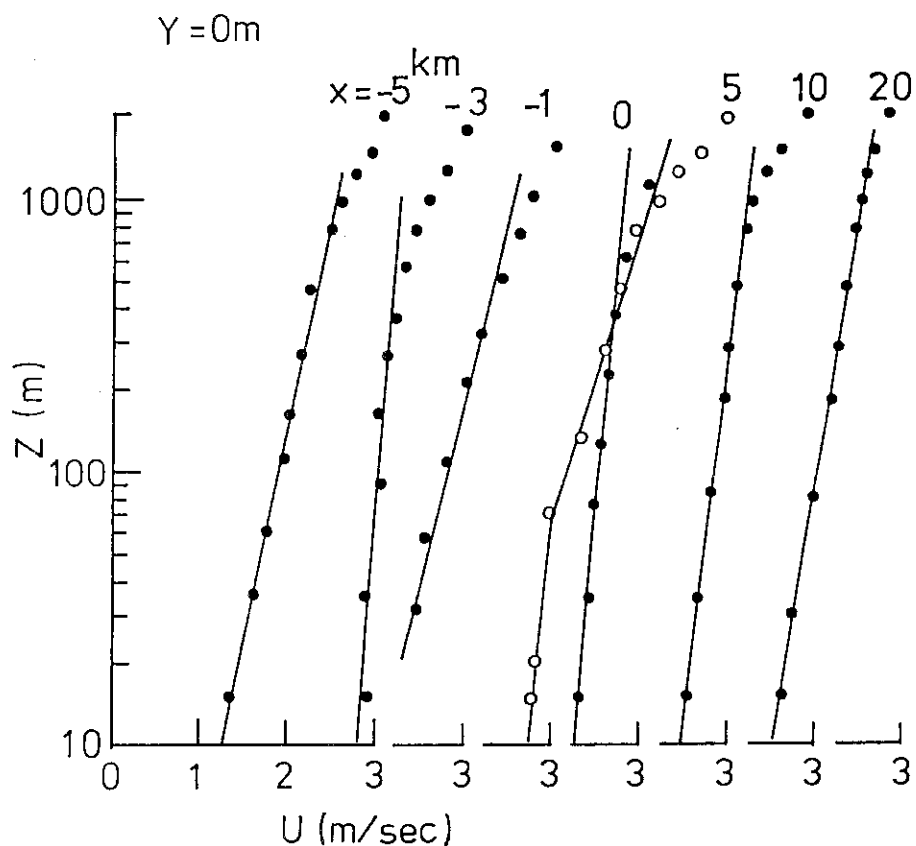
第4.33図 不安定成層と中立成層における、鉛直濃度分布



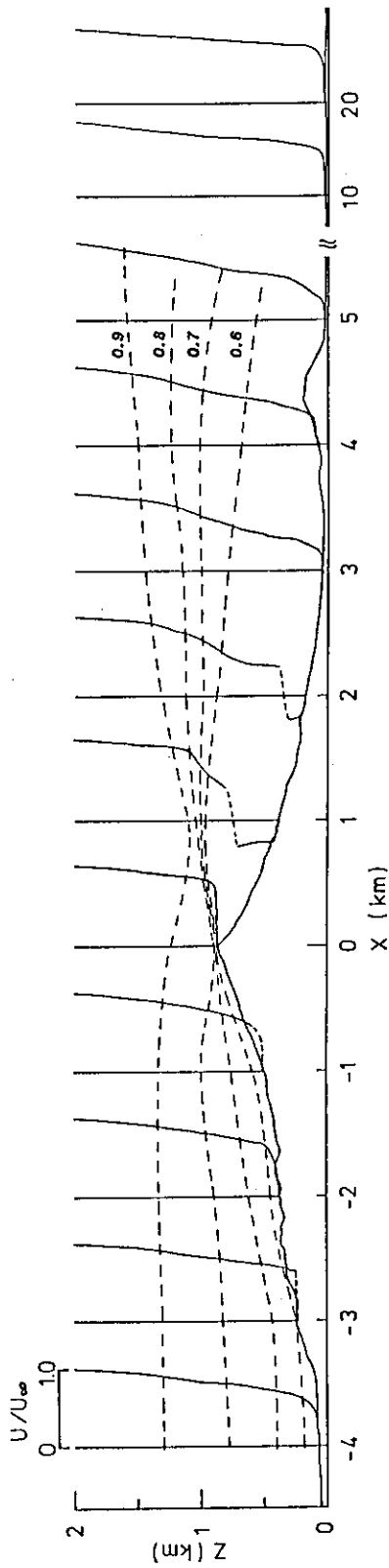
第4.34図 孤立峰がある地形の概略図



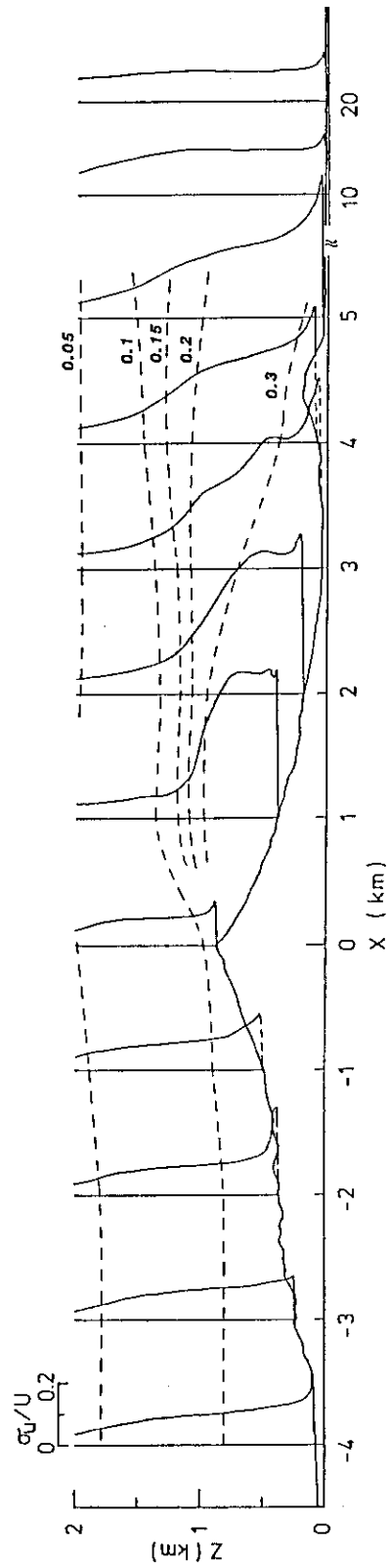
第 4.35 図 孤立峰がある地形上の実験の概略図



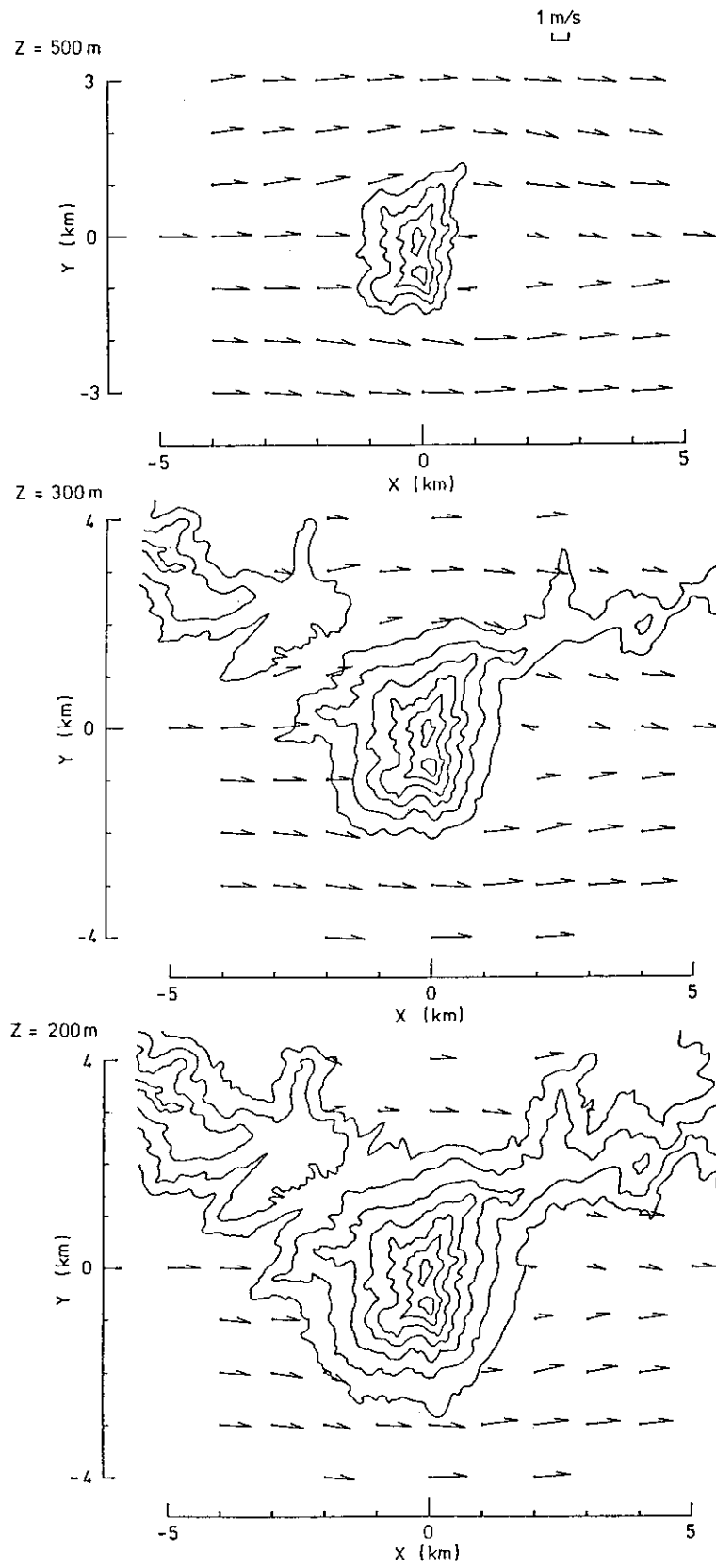
第 4.36 図 孤立峰地形上、主軸上各風下距離の風速分布 (風向 N)



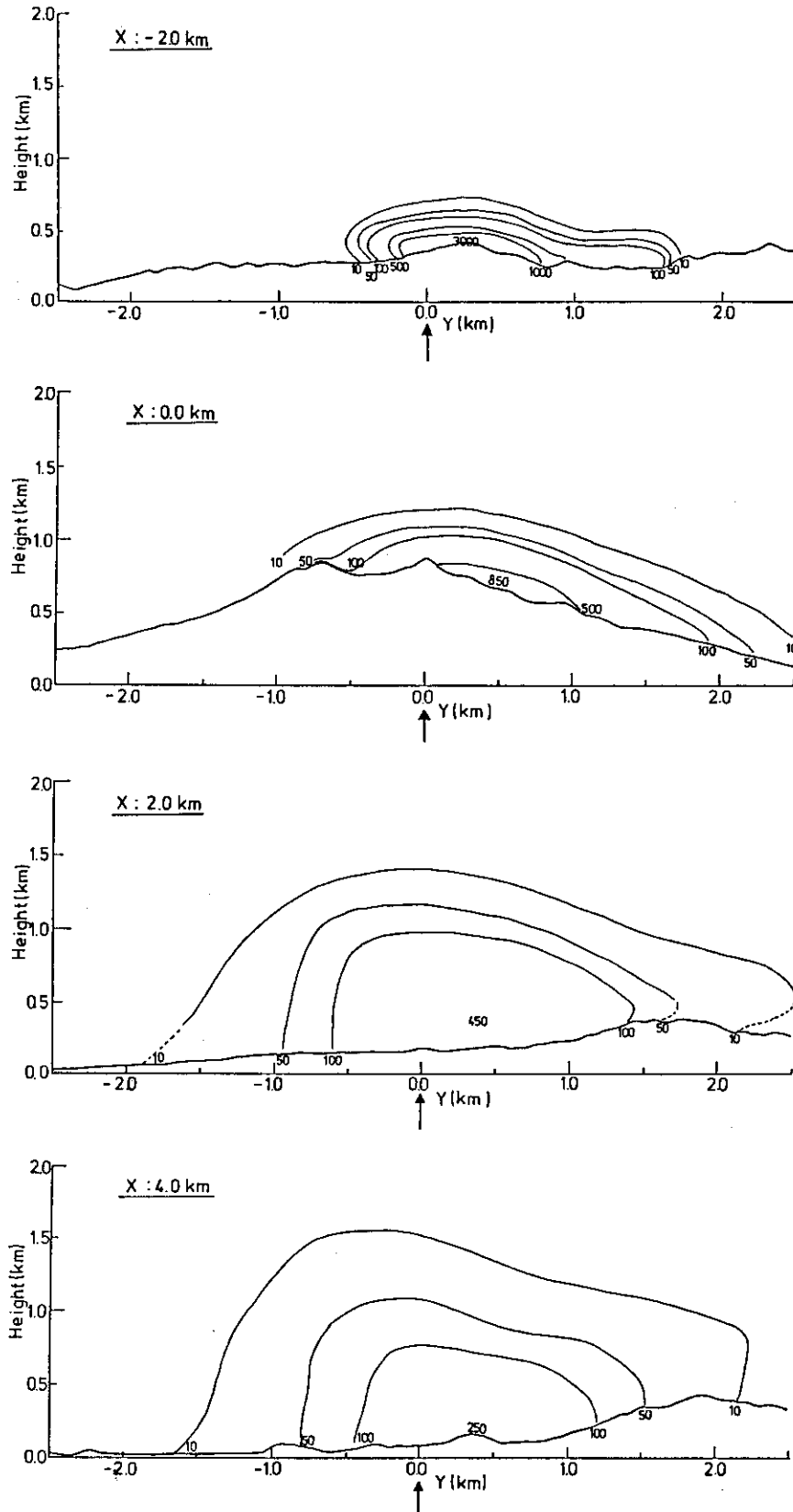
第4.37図(a) 孤立峰地形上, 主軸に沿った地形断面図上における風速分布のプロファイル



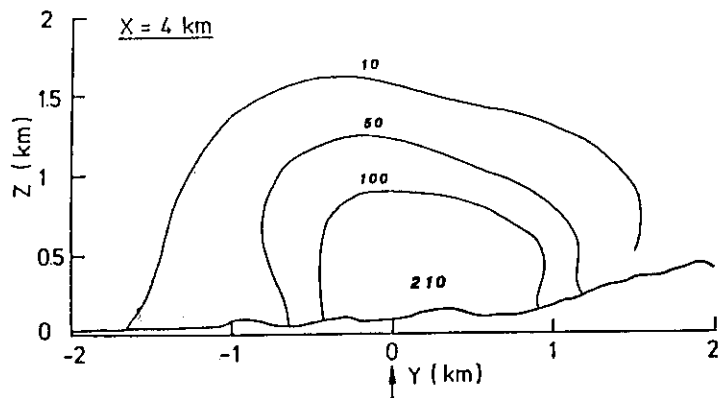
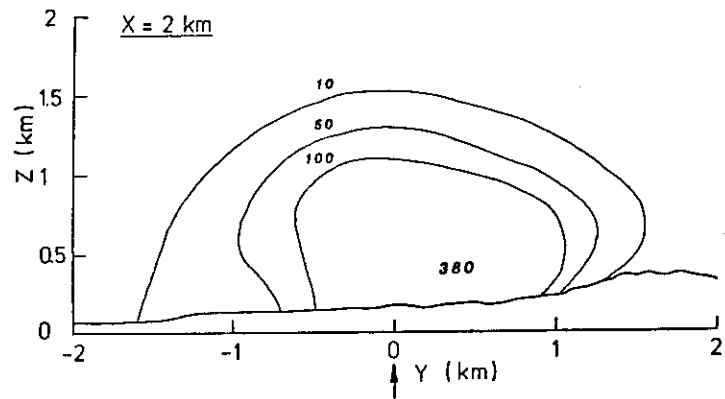
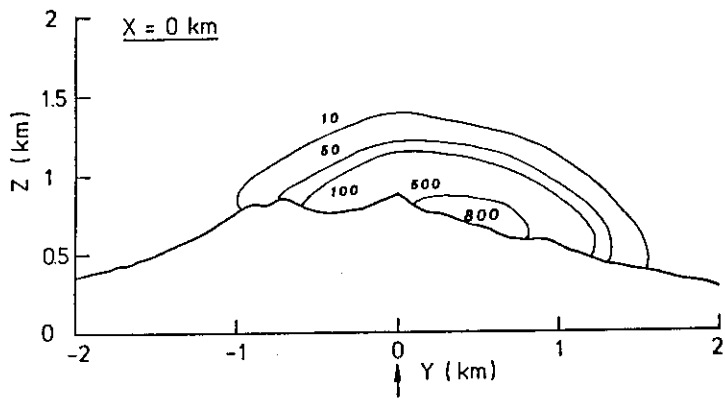
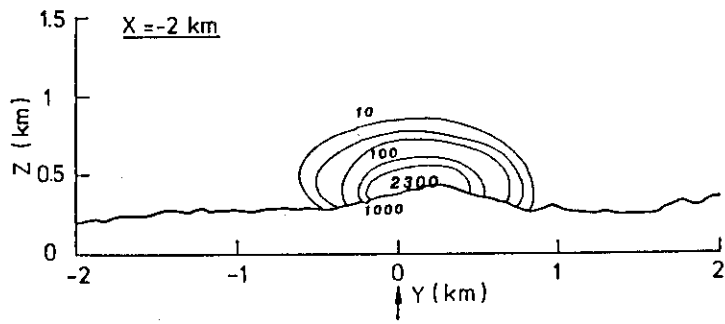
第4.37図(b) 孤立峰地形上, 主軸に沿った地形断面図上における σ_u のプロファイル



第4.38図 標高200, 300, 500 mにおける孤立峰のまわりの流れ

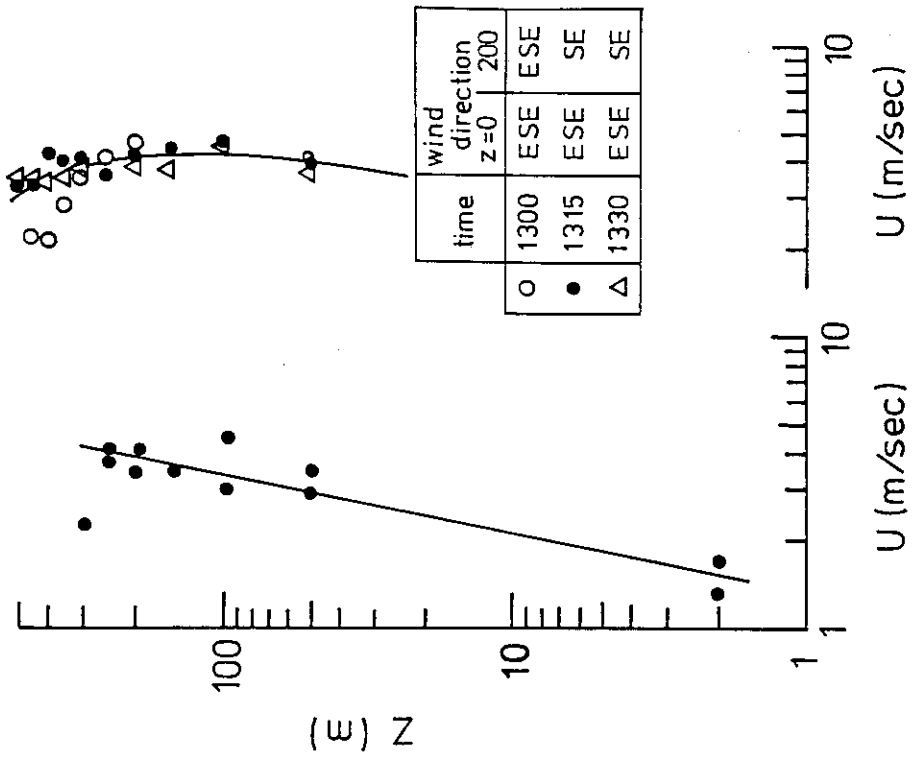


第 4.39 図(a) 孤立峰地形上, 各風下距離の鉛直断面濃度分布 ($H_s = 0$ m)

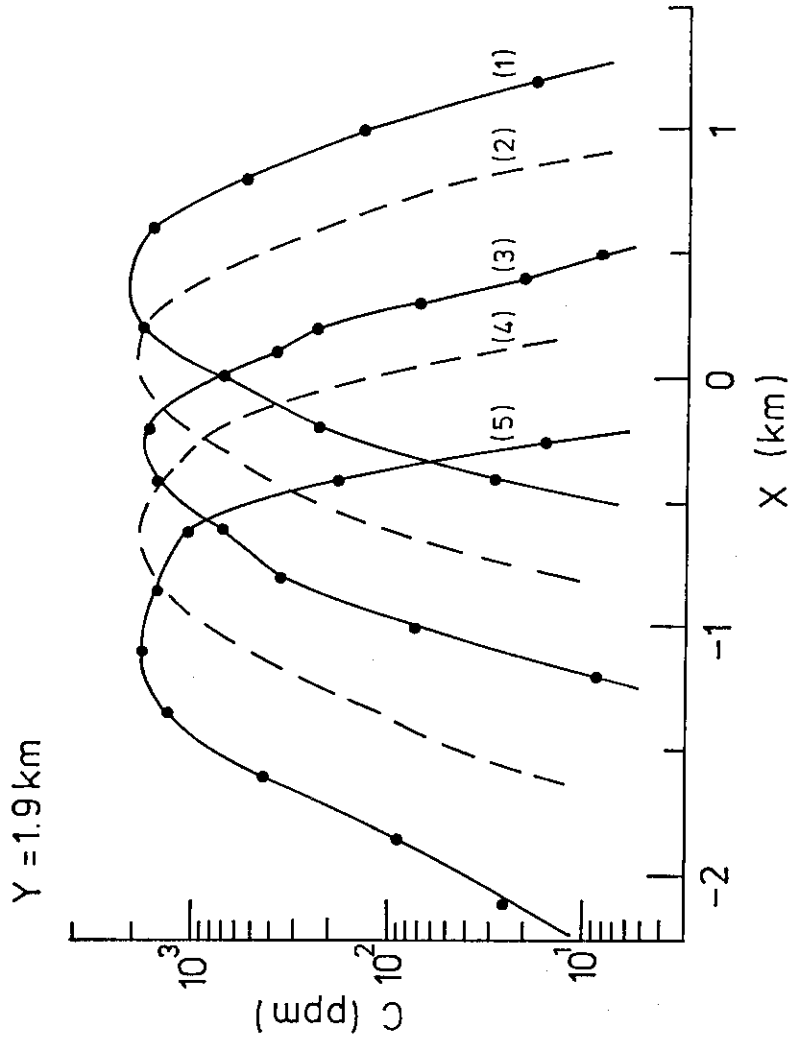


第4.39図(b) 孤立峰地形上, 各風下距離の鉛直断面濃度分布 ($H_s = 200 \text{ m}$)

(a) S2, 1300, 風向 E M, 1300~1330

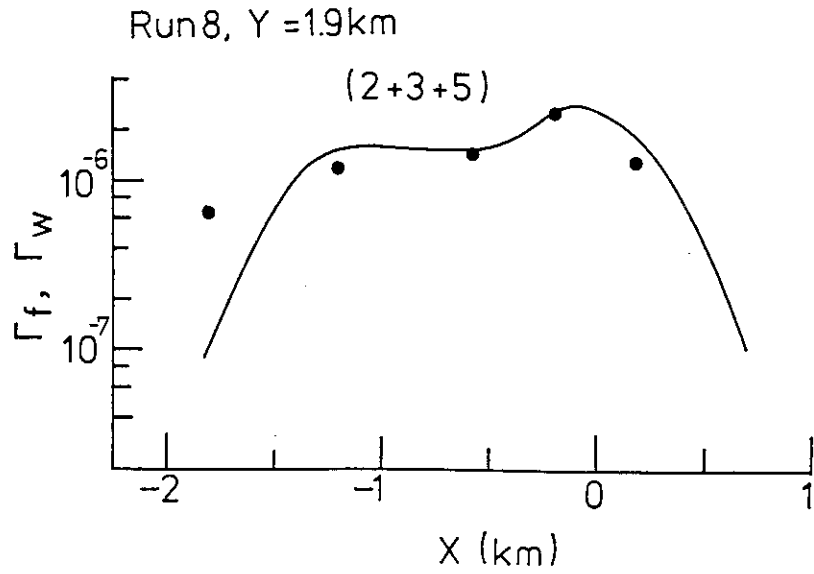


(b)

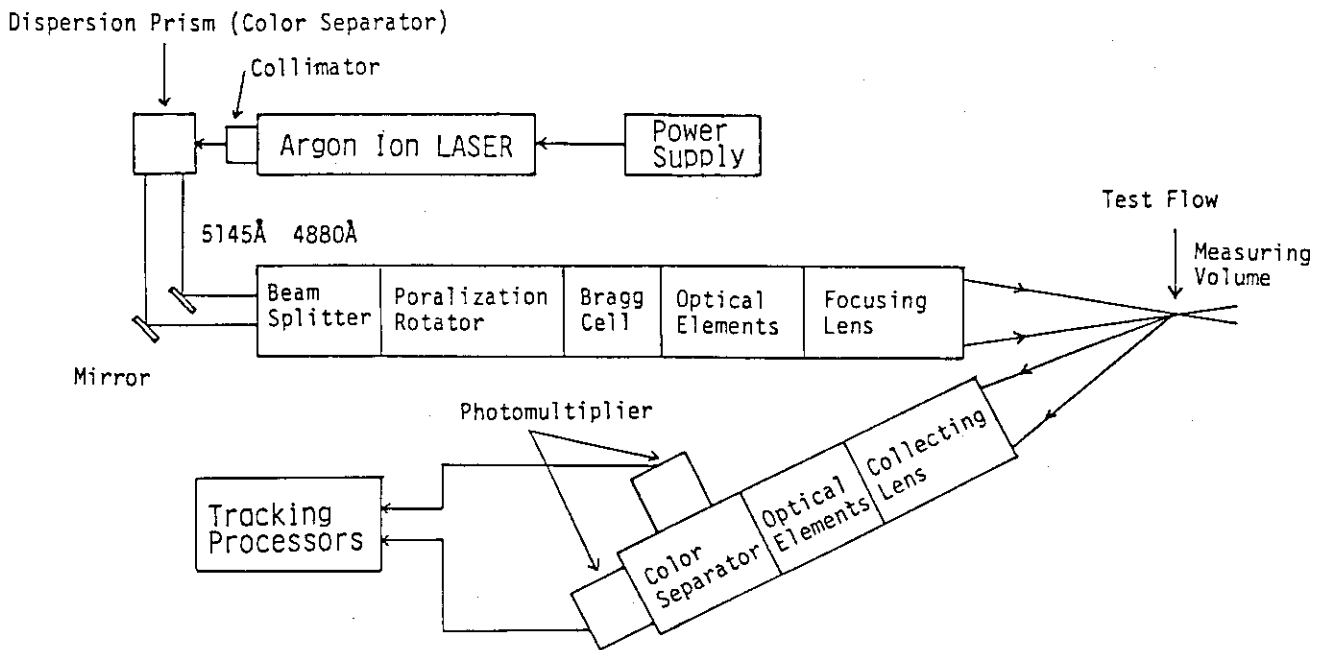


第4.40図 S2地点における風速分布(a)とM地点における風速分布と風向(b)

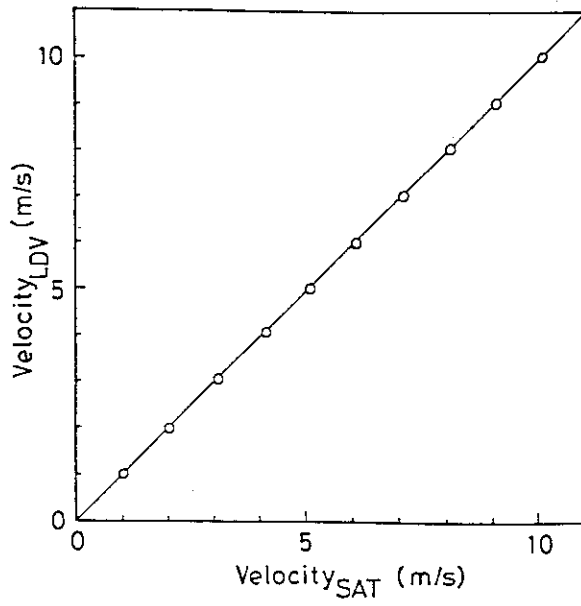
第4.41図 孤立峰地形上, Y = 1.9 km における風向 E ~ SE に対する地上濃度分布



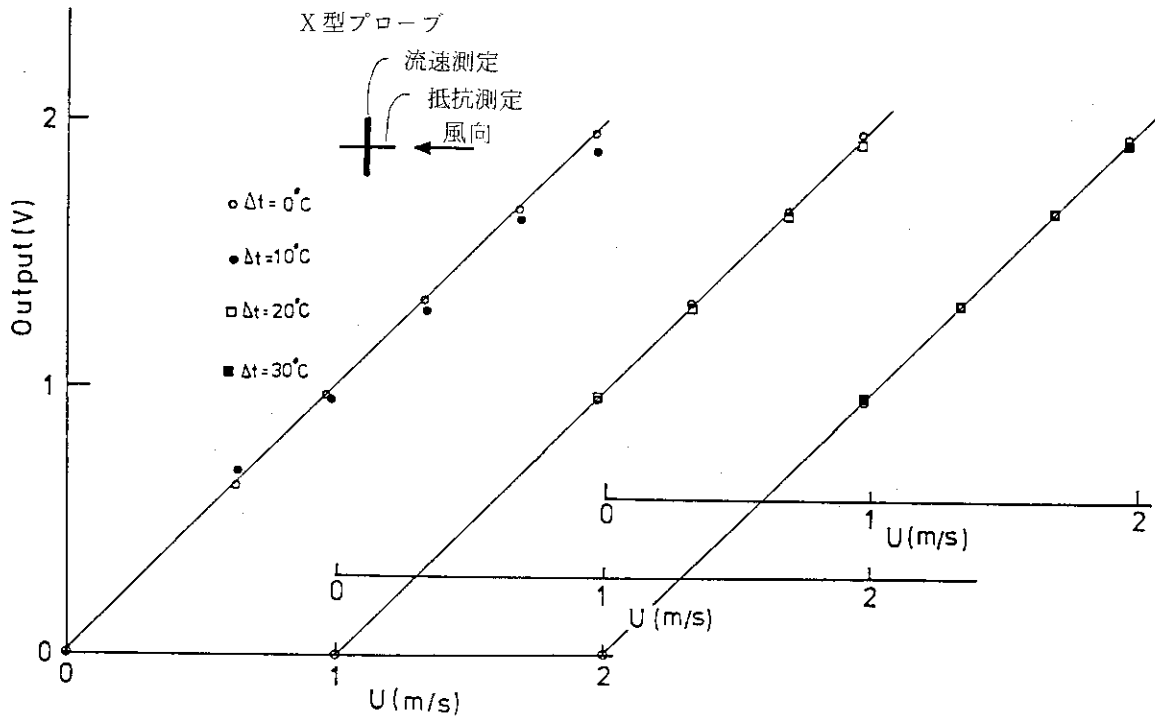
第4.42図 風洞実験による濃度分布の重ね合わせから求めた地上濃度分布（実線）と観測により得られた地上濃度分布（黒丸印）



第4.43図 LDV システムのブロックダイアグラム



第4.44図 LDV と超音波風速計で得られた風速の比較



第4.45図 抵抗温度計により温度補償をしたときの熱線風速計の出力特性

5. 気象観測ネットの調査

茅野政道*

SPEEDI（緊急時環境線量情報予測システム）への有効な気象データの供給法の検討を目的として敦賀美浜、大飯高浜地区を選び、気象観測ネット展開のためのケーススタディを行った。そのため第1段階として対象地区の観測現状を調査しそれにもとづきSPEEDIに望まれる気象観測ネットのあり方を検討した。

5.1 気象観測点調査

対象観測点はサイト周辺50 km以内のAMeDASと自治体放射線監視センターのもので、全部で15点あった。これらのうち、周囲が平坦なところに良好な周辺状況で存在したものが8カ所、急斜面を横切る道端等に設置されているものが5カ所、建物や樹木等により正常な観測がなされていないと考えられるものが2カ所あった。福井県は、山と海が入り組んでいるため、サイト付近の複雑地形上に設置された気象観測点の地域代表性は低いと考えられている。風向・風速の鉛直分布は、常時観測を行っているものはサイト内にある気象観測塔のみである。サイト内気象観測塔では、大気安定度決定のための観測も実施されている。大気安定度は、自治体の監視システムでも算出されているが、放射収支計を持たないため夜間は全て欠測となる。

調査した気象観測点の一覧をTable 5.1に、地形と観測点位置をFig. 5.1とFig. 5.2に示す。

5.2 検討結果

前節に示した調査結果をもとに、専門部会では計算モデルへの入力データとして欠けているものと、その補強方法について検討した。以下に検討結果を示す。地上風向・風速の観測はオンラインでデータが入手できる観測点が15カ所あり、データ数としては特に少ないとは言えない。しかし、敦賀地区のように地形の複雑な地域では各観測点が代表する範囲はかなり狭くなると考えられる。計算システムでは、入手データを積極的に用いる質量保存則モデルを用いた風速場計算を行うため、より多くの観測データが望まれる。15点ある地上風観測はともかくも、サイト内気象観測塔でしか実施されていない風の鉛直分布の観測は補強する必要がある。上層風は、従来は低層ゾンデやパイロット・バルーン等により測定されてきた。近年では、リモートセンシングや航空機を使用した測定も実施されている。低層ゾンデやパイロット・バルーンによる観測は、取扱いは簡単であるが、測定値解析が必要となるためオンライン化はむずかしい。また、緊急時に即座に対応するために観測要員の確保等の体制を確立しなくてはならない。一方リモートセンシングは、技術的にも確立されており、人手を介さずに自動測定できること、オンライン化が容

* 日本原子力研究所

易であること等の利点がある。しかし発生確立が極めて低い原子炉事故のために、例えば各地方自治体が観測機器を平常時から維持管理することは、現段階では現実的でない。移動式の測定機器を1セット準備して、事故発生時に該当サイトへ運搬して観測を実施する方法も考えられるが、この場合かなりの時間遅れを生じると予想される。航空機測定については、測定手法自体が開発段階であり、測定結果入手までの時間遅れも予想される。

また、オンラインで入手できそうな既存の観測点データを上層風データとして利用する方式も、以下の手段が考えられる。

(i) 山頂等に設置された地上風観測データの利用

野外拡散実験で、筑波山頂の測候所の観測データとパイバル等のデータがよく一致していたことから分かる通り、サイト周辺の孤立峰に観測点があれば、直接測定が始まるまでの暫定データとして、これを上層風データとして利用することが可能である。

(ii) 高層気象定時観測気象報の利用

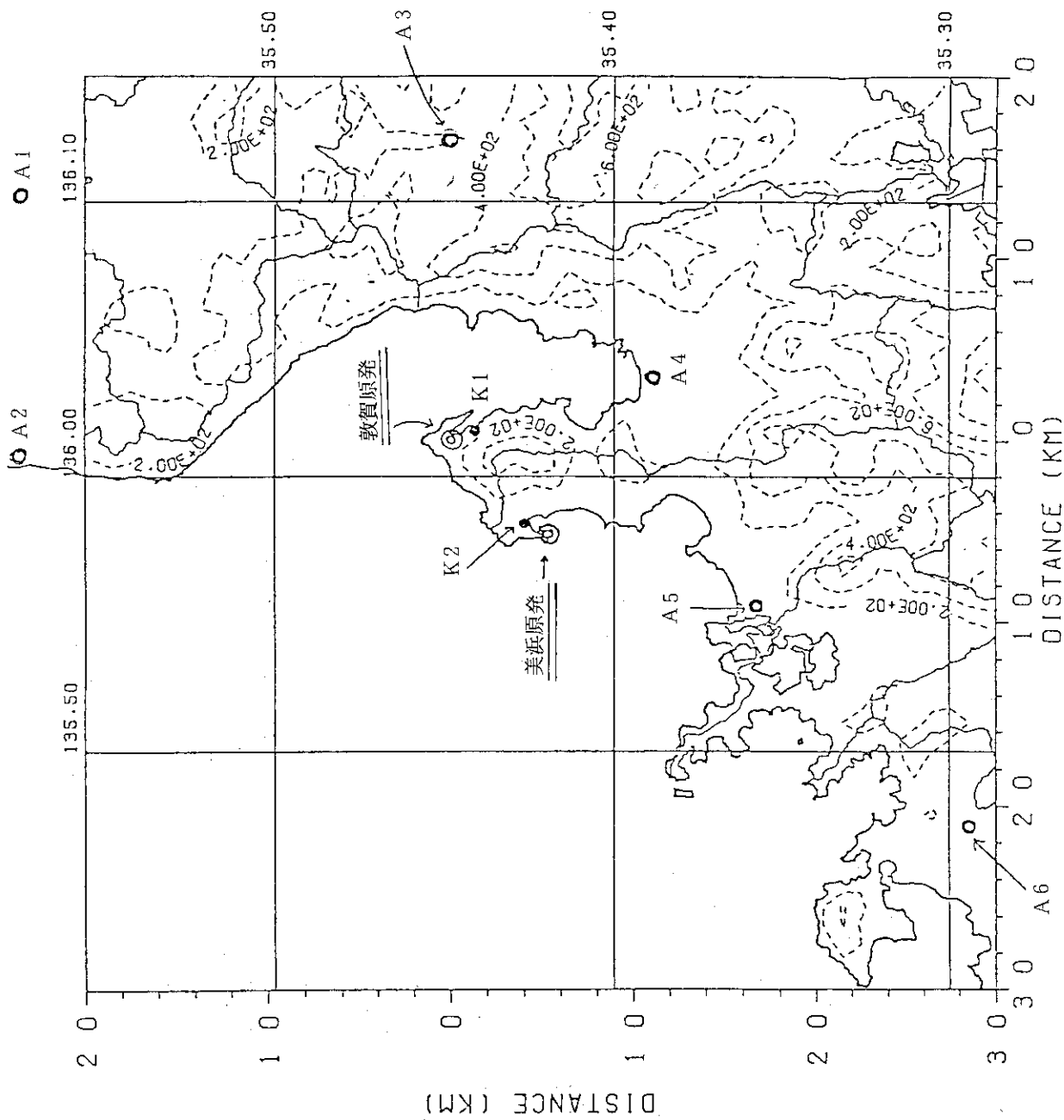
国内約20カ所の高層気象がMICOSに記録されており、これらのうちサイトに近いものはオンラインで入手できる。ただし、観測時間間隔は通常12時間であり、緊急時に利用するには粗すぎる。また、測定高度は最低が850mb(高度約1500m)であるため、参考データとしての利用に留まる。敦賀の場合は、最も近い高層気象観測点は約150km離れた輪島である。

(iii) 数値予報の利用

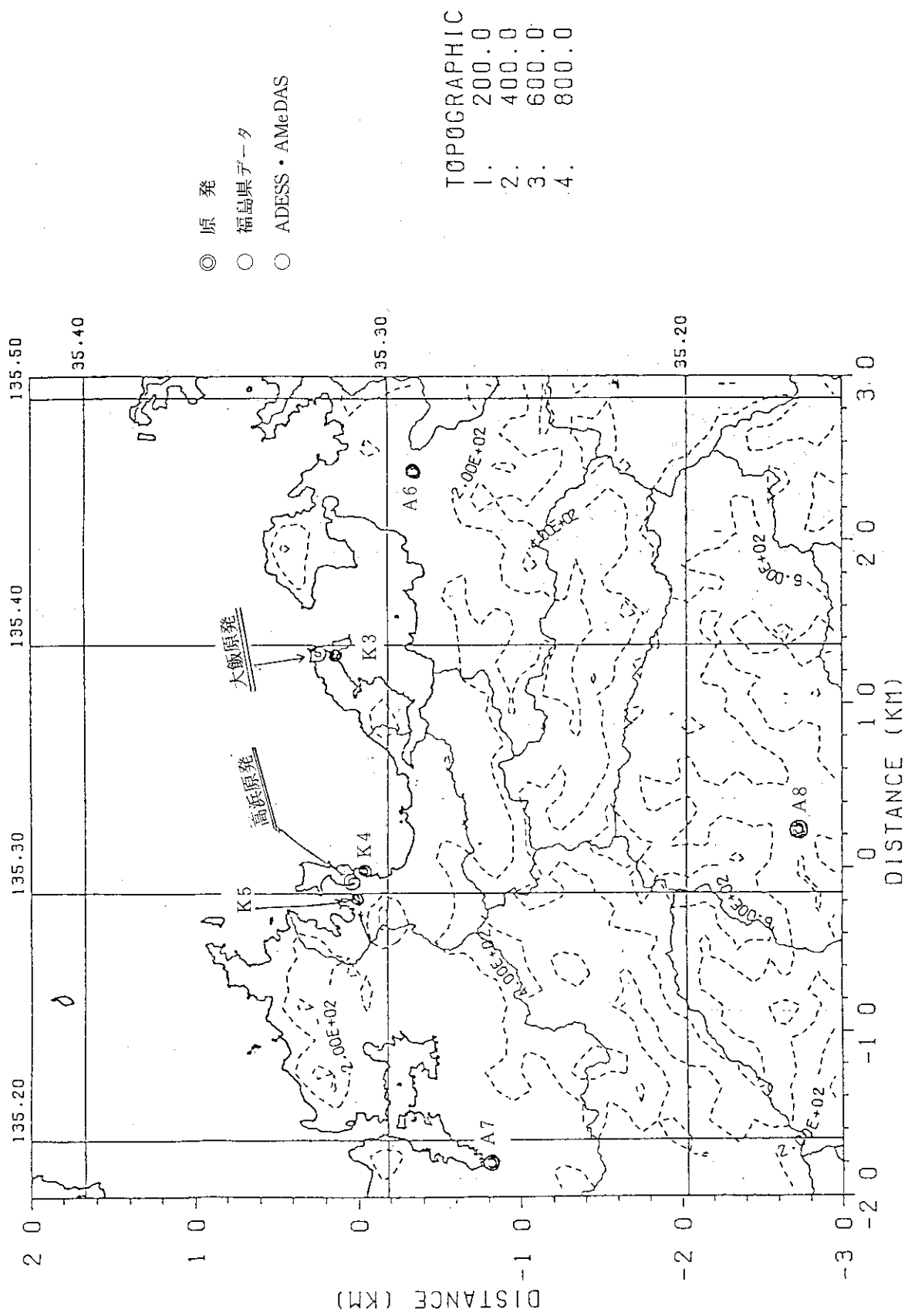
気象庁では、気象観測データをもとにして、数値予報を行っている。予報の空間メッシュは170km×170kmと広いが、現況だけでなく予報も含むため、緊急時には利用価値が高い。現在、緊急時計算システムでは、このデータの利用を特に考慮してはいないが、具体的なシステムへの取込方法、狭域気象予報への適用方法について、今後検討する価値がある。

表 5.1 敦賀・高浜地区気象観測点調査一覧

地点記号, 名	管 理	観測項目	位 置	状 況
A 1 福 井	地方気象台		福井市内	良 好
A 2 越 廻	AMeDAS	風, 雨量		海岸から発達した山の中腹にある。
A 3 今 庄	"	"		両側を山に囲まれた川沿いの場所
A 4 敦 賀	測 候 所			良 好
A 5 美 浜	AMeDAS	風, 雨量		良 好
A 6 小 浜	"	"		南側に駐車場をへだてて3階だての建物
A 7 舞 鶴	海洋気象台			良 好
A 8 虎 姫	AMeDAS	風, 雨量	} 琵琶湖 周 辺	良 好
A 9 今 津	"	"		良 好
A 10 北小松	"	"		良 好
K 1 浦 底	福 井 県 監視センター	風, 気温, 風 量, 日射量		北西がガケでたかい
K 2 丹 生	"	風, 気温, 雨 量		すぐ北が切りくずしのガケ
K 3 宮 留	"	風, 気温, 雨 量		良 好
K 4 小黒飯	"	風, 気温, 雨 量, 日射量		海岸から発達した山の中腹
K 5 神野浦	"	風, 気温, 雨		神社の森の中



第5.1図 敦賀周辺気象観測点



第5.2図 大飯・高浜周辺気象観測点

6. お わ り に

スリーマイル島2号原子炉（TMI - II原子炉）の事故を契機にして開始された緊急時関連研究は、5カ年の予定で開始された研究が6カ年に延長された点を除き、当初の目的を満足する成果を得て終了することとなった。

「気象・風洞実験専門部会」の活動成果を用いた研究成果には、原研環境第一研究室における3次元風速場、拡散計算モデルの開発、気象研究所応用気象研究部に於ける力学的気象予測モデルの開発等に反映されている。これらの成果の一部は「緊急時モニタリング・予測専門部会」活動成果報告書⁽¹⁾に述べられている。

本専門部会の活動の中で、6カ年に渡る野外拡散実験は我が国では他に例をみない大規模な実験である。原研では、6年間の実験結果をデータ集にまとめ公開した（2章の参考文献参照）。今後各方面での活用を期待するものである。

本専門部会の活動は、昭和56年度から58年度まで専門部会長を勤められた（故）坂上治郎博士の指導に因るところが大きい。博士の御指導に感謝するとともにご冥福をお祈り申し上げます。

参考文献

- (1) 環境放射能研究委員会，緊急時モニタリング，予測専門部会：緊急時モニタリングと予測計算のための手法並びにシステムの開発，JAERI-M 86-111（1986）