

東海村微気象調査報告

1962 年 6 月

日本原子力研究所

Japan Atomic Energy Research Institute

序

東海村に研究所建設をするに当り、早期に着手を要する地球物理学的な調査は数多くある。現地の自然環境を見るに、敷地は鹿島灘に接した防風林地帯であり、一面に松が密生している。樹高は場所により著しく違うが最高 25m 前後である。このような松林の一角を切り開いて研究所を建設しつつあるので、放射性細塵及びガスの放出される煙突の高さとその作用、敷地内の換気状況等の問題を解明する必要がある。31年度、気象庁に委託して現地の微気象調査を実施した。そのうち、第一回は 31 年 5 月 30 日～6 月 3 日に行われ、結果は「予備観測報告書」として既に公表されている。今回収録した調査報告は、31 年 11 月に行った集塵器の性能試験と 32 年 1 月 29 日～2 月 5 日に実施した発煙実験並びに微気象観測の結果である。研究所の建設、管理運営に就き参考とすべき多くの知見が得られた。たとえば、地表 20 m 以下の煙拡散を論ずる場合、近似的に O. G. Sutton の理論式でさしつかえないこと、又拡散係数は周囲の松林の影響を受け平坦地に比較して意外に大きな値となること、更に敷地内の自然換気量と気象条件との関係が明らかになったこと等である。しかし、今回の調査は設備その他の関係から、煙源の高さを地上 20m 以下にせざるを得なかったし、観測方法が限定されていたので、今後は本報によって絞られた内容につき更に調査を推進したいと考えている。

今回の微気象調査を心よく受諾し、不便の多い東海村現地において観測を実施され、その上有益な報告を提出して下さった気象庁川畑観測部長を初め関係官各位に深甚な感謝と敬意を表明したい。

昭和 32 年 6 月

日本原子力研究所 保健物理部長

青 木 敏 男

東海村微気象調査報告

要 旨

1957 年 2 月，東海村研究所構内において微気象調査が実施された。本調査の目的は煙突その他より放出される放射性ガス又はダストが周囲の大気を如何に汚染するかを調査することにある。

今回は発煙筒により塩化亜鉛の煙を発生せしめ，その拡散と気象状況との関連を調べた。その結果，煙は大体 O. G. Sutton の求めた拡散式に従って周囲に拡がること，ただし，拡散常数は周囲の松林の影響により，比較的大きな値となることが実証された。その他，研究所構内における換気量の決定も行われた。

On Micrometeorological Survey at the Site of Japan Atomic Energy Research Institute.

Studies to determine the laws of behaviour of stack gas as they flow downwind, and to prevent downwash of these gas, has been in progress at J. A. E. R. I. since June, 1956. The material presented in this report was obtained almost entirely from the survey which carried on at Tokai-Mura, Ibaragi Prefecture in February, 1957.

In this survey, the behaviour of ZnCl_2 smoke which was exhausted from a smoke-candle, was studied. During this period, the vertical distribution of temperature, wind speed and wind-direction from ground to 30m height, was observed. The results show that the Sutton's Diffusion Formula is fit for our case, and that ZnCl_2 smoke is useful for the smoke investigations. Furthermore, the austausch quantity of atmosphere in the site of J.A.E. R. I. was estimated.

目 次

第 1 部 調 査 編

第 I 章 総 説	1
I-1. 調 査 の 目 的	1
I-2. 調 査 の 方 針	1
I-3. 調 査 の 方 法	1
I-4. 調 査 の 経 過	1
I-5. 調査結果の概要	2
A. 煙の拡散観測	2
B. 換気時間並びに拡散係数	2
I-6. 本観測実施時の敷地の状況	3
I-7. 本観測実施期間中の天気概況	3
第 II 章 煙の拡散観測	6
II-1. 煙の拡散観測に必要な条件	6
II-2. 塩化亜鉛の煙を選定した理由	7
II-3. 測定器の選定	7
II-4. 塩化亜鉛の煙粒の大きさとその落下速度	8
II-5. 煙の濃度測定方法	11
1. 発 煙 剤	11
2. 測 定 器	11
3. 亜鉛の Back ground の種類	12
4. 電 源	12
5. 気 流 観 測	12
6. 気 象 観 測	12
7. 写 真 撮 影	12
II-6. 煙に含まれる亜鉛の定量分析	12
1. ジチゾンによる亜鉛の定量分析	13
2. 試 薬	13
3. 定量分析操作	13
4. 混合比色法の精確度	13
5. 光電比色計による確め	14

Ⅱ-7. 汚紙の亜鉛量と亜鉛の Back ground	14
1. 汚紙の亜鉛量	14
2. 亜鉛の Back ground	14
Ⅱ-8. 煙の濃度分布	14
Ⅱ-9. 煙の濃度分布より渦動拡散係数 K の計算	34
Ⅱ-10. 煙の濃度分布より Sutton の横拡散係数 C_y 及び垂直拡散係数 C_z の計算	37
Ⅱ-11. 風向, 風速の垂直分布より求めた C 及び C_z と, 煙の濃度分布より求めた C_y, C_z との比較	38
Ⅱ-12. O. G. Sutton の拡散式による地上濃度の積分値と実測濃度との比較	39
Ⅱ-13. O. G. Sutton の式による濃度計算値と実測濃度との比較	40
Ⅱ-14. 煙源の高さと地上濃度 Peak, x_p との関係	41
Ⅱ-15. 煙源の高さと風下濃度最大値 x_{max} との関係	43
Ⅱ-16. 煙の濃度の垂直分布	44
Ⅱ-17. O. G. Sutton の拡散係数と風速との関係	45
Ⅱ-18. C_y, C_z の垂直分布	47
Ⅱ-19. 煙 の 幅	48
Ⅱ-20. n と気温でい減率	48
Ⅱ-21. 今後の問題	49
第 Ⅲ 章 換気時間並びに拡散係数	49
Ⅲ-1. 観 測 の 目 的	49
Ⅲ-2. 観 測 の 方 法	49
Ⅲ-3. 観測装置および操作	50
1. 水平風速測定用熱線風速計	54
2. 垂直流測定用の熱線風向風速計	54
3. 微風用風向計	55
Ⅲ-4. 測定記録とその解析	56
1. 換 気 時 間	57
2. 拡 散 係 数	60
3. 垂 直 流	62
4. 水平方向の拡散係数と垂直方向の拡散係数の比較	62
5. 水平方向の拡散係数の高度変化	63
6. 水平方向の拡散係数と平均風速	64
7. 水平方向の拡散係数と観測時間	65
8. 観測地点相互の比較	68
9. 垂直方向の拡散係数と観測時間の関係	75

Ⅲ-5. 今後の問題	75
第Ⅳ章 煙突の煙のうねり	76
Ⅳ-1. ま え が き	76
Ⅳ-2. 風速変動と気塊	76
Ⅳ-3. 煙のうねりと伸び	78
Ⅳ-4. 気塊の下降の一計算例	80
Ⅳ-5. 煙塊が下りてくる高さの一計算例	83
Ⅳ-6. 低く下りてきた煙塊の濃度	84
Ⅳ-7. 煙塊の最初の濃度	84
Ⅳ-8. ま と め	86

第2部 資料 編

資料 1. 発煙観測資料	87
資料 2. 気象観測資料	92

図 目 次

Fig. I-1. 日本原子力研究所敷地の概況	4
Fig. I-2. 調査期間中の天気図	5
Fig. II-1. 塩化亜鉛粒子の顕微鏡写真	9
Fig. II-2. 粒径の度数折線	9
Fig. II-3. 塩化亜鉛の電子顕微鏡写真	10
Fig. II-4. 観測装置	11
Fig. II-5. 煙の濃度測定器	11
Fig. II-6. 東海村観測やぐらの気象測器の高さ	12
Fig. II-7. 測定線、発煙点及び気球航跡	15~22
Fig. II-8. 亜鉛の濃度分布と気温、風速の垂直分布	23~31
Fig. II-9. 煙の運動状況	32, 33
Fig. II-10. 拡散式の座標の取り方	34
Fig. II-11. 風速と渦動拡散係数との関係	35
Fig. II-12. 2月4日の風向風速（エーロベン）の記録	41
Fig. II-13. 煙源の高さと地上濃度 x_p との関係	42
Fig. II-14. 煙源の高さと x_{max} との関係	44
Fig. II-15. 煙の濃度の垂直分布	44
Fig. II-16. Sutton の拡散係数と風速との関係	46
Fig. II-17. 高さによる C_y 及び C_z の変化	47

Fig. II-18. 煙の幅と風速との関係	48
Fig. II-19. n と気温でい減率との関係	48
Fig. III-1. 観測地点分布図	50
Fig. III-2. 観測地点①	50
Fig. III-3. " ②	51
Fig. III-4. " ③	51
Fig. III-5. " ④	51
Fig. III-6. " ⑤	52
Fig. III-7. " ⑥	52
Fig. III-8. 水平風速測定用熱線風速計のエレメント	53
Fig. III-9. 熱線風速計並びに熱線風向計回路図	53
Fig. III-10. 熱線風速計の検定曲線の一例	54
Fig. III-11. 垂直成分測定用熱線風向計のエレメント	54
Fig. III-12. 熱線風速計エレメント	55
Fig. III-13. 垂直成分測定用熱線風向計の検定曲線	55
Fig. III-14. 微風用風向計	55
Fig. III-15. 熱線風速計による風速並びに熱線風向計による θ の記録の一例	56
Fig. III-16. 微風用風向計による風向の記録の一例	56
Fig. III-17. 風向の頻度分布 (1957.2.4 ③)	58
Fig. III-18. " (1957.2.5 ④)	59
Fig. III-19. 観測時間と平均風速	60
Fig. III-20. 気塊の垂直方向の通過時間とその個数との関係	62
Fig. III-21. 水平拡散係数 (Kx) の観測時間 (T) による変化の一例	63
Fig. III-22. 水平拡散係数 (Kx) の高度分布 (観測地点⑥)	63
Fig. III-23. " (観測地点④)	64
Fig. III-24. 平均風速 (U) の高度分布	64
Fig. III-25. 風向の頻度分布 (1957.2.6.⑥)	64
Fig. III-26. 水平拡散係数 (Kx) と観測時間 (T) との関係	65
Fig. III-27. 水平拡散係数 (Kx) と平均渦の大きさ ($\langle Lx \rangle_T$) との関係	66
Fig. III-28. 平均渦の大きさ ($\langle Lx \rangle_T$) と観測時間 (T) との関係	67
Fig. III-29. 風向の頻度分布 (1957.2.5.⑤)	68
Fig. III-30. 水平拡散係数 (Kx) と観測時間 (T) との関係	69
Fig. III-31. 水平拡散係数と平均渦の大きさ ($\langle Lx \rangle_T$) との関係	70
Fig. III-32. 平均渦の大きさ ($\langle Lx \rangle_T$) と観測時間 (T) との関係	71
Fig. III-33. 水平拡散係数 (Kx) と観測時間 (T) との関係	72

Fig. Ⅲ-34. 水平拡散係数 (K_x) と平均渦の大きさ ($\langle L_x \rangle_T$) との関係	73
Fig. Ⅲ-35. 平均渦の大きさ ($\langle L_x \rangle_T$) と観測時間 (T) との関係	74
Fig. Ⅲ-36. 垂直拡散係数 (K_z) と観測時間 (T) との関係	75
Fig. Ⅳ-1. 超小型熱線風速計で測定した風速のオシログラフ記録の一部	76
Fig. Ⅳ-2. オシログラフ記録を時間軸の方向だけ縮写する装置 (縮写率 $= v/V$)	78
Fig. Ⅳ-3. 風速のオシログラフ記録を時間軸の方向に縮写したもの	77
Fig. Ⅳ-4. 従来の風速変動と気塊との対応のさせ方	78
Fig. Ⅳ-5. 筆者による風速変動と気塊との対応の仕方	78
Fig. Ⅳ-6. 高さ 26m および 16.5m で観測した風速変動とうねりを引起す気塊との対応 (主風向 NNE)	79
Fig. Ⅳ-7. 気塊の水平の大きさの頻度分布	78
Fig. Ⅳ-8. 気塊の運動の種類	80
Fig. Ⅳ-9. 大きい気塊と押下げられる気塊	80
Fig. Ⅳ-10. B気塊の前面が観測地点の高さ26mの所を通過するときの前面の傾き	81
Fig. Ⅳ-11. 観測地点の高さ26mの所を通過後の各時刻におけるB気塊の前面の傾き, 及び前面に沿って押下げられてゆく有様	81
Fig. Ⅳ-12. 高さ16.5mにおける風速の主風向の水平成分と垂直成分	82
Fig. Ⅳ-13. 風速の二成分を測定する装置	82
Fig. Ⅳ-14. 煙塊の Mass motion と random motion によって下りてくる高さの確率	83
Fig. Ⅳ-15. ひとかたまり (直径 L ・球形) の空気が拡散 (拡散係数 K) していくときの各時刻におけるこの空気の濃度分布	84
Fig. Ⅳ-16. 直径 2 m の球形の煙塊が拡散 (渦拡散係数 $150 \text{ cm}^2/\text{sec}$) していくときの煙のひろがりとその濃度 (はじめの濃度を 1 とする)	84
Fig. Ⅳ-17. 煙突から出た煙の体積の幾何的表示	85
Fig. Ⅳ-18. 煙塊と空気塊との交り方	86

表 目 次

TABLE Ⅱ-1 集塵器の比較表	8
TABLE Ⅱ-2 煙の粒径の測定値	9
TABLE Ⅱ-3 混合比色法の精確度	14
TABLE Ⅱ-4 東洋汙紙 No. 5 A (径 32 mm) 1枚に含まれる亜鉛量	14
TABLE Ⅱ-5 亜鉛の Back Ground の測定値	14
TABLE Ⅱ-6 K 及び K_h	36
TABLE Ⅱ-7 C_y , C_z の計算表	38

TABLE II-8 林内林外の C^2 の値.....	39
TABLE III-1 高さ 30.7m の平均風速を基準とした場合の各観測地点の平均風速の比較.....	57
TABLE III-2 渦動拡散係数の計算表.....	61
TABLE III-3 水平方向の拡散係数と垂直方向の拡散係数との比較.....	62
TABLE IV-1 気塊の速度とその差.....	80
TABLE IV-2 気塊の水平大きさと水平速度.....	81

CONTENTS

PART 1 — INVESTIGATIONS

Ch. I	GENERALS	1
I—1.	Purposes of investigation	1
I—2.	Plan of investigation	1
I—3.	Method of investigation	1
I—4.	Process of investigation	1
I—5.	Summaries of results obtained	2
I—6.	State of the Site of Japan Atomic Energy Research Institute (J. A. E. R. I)	
	during investigation	3
I—7.	Weather conditions during investigation	3
Ch. II	OBSERVATION OF SMOKE DIFFUSION	6
II—1.	Necessary conditions for the observation of smoke diffusion	6
II—2.	Reasons of using zinc chloride	7
II—3.	Selection of sampling apparatus	7
II—4.	Sizes and falling velocities of smoke particles of zinc chloride	8
II—5.	Measuring method of smoke concentration	11
	1. Smoke generating materials	11
	2. Sampling apparatus	11
	3. Various kinds of back ground of zinc	12
	4. Electric power used for sampling apparatus	12
	5. Meteorological observation	12
	6. Photographing of smoke and site situation	12
II—6.	Quantitative analysis of zinc contained in smoke	12
	1. Quantitative analysis of zinc by dithizone reagent	13
	2. Dithizone reagent and others	13
	3. Process of quantitative analysis	13
	4. Accuracy of colorimetric analysis	13
	5. Check by photoelectric colorimeter	14
II—7.	Zinc contained in filter papers and back ground of zinc	14
	1. Zinc contained in filter papers	14
	2. Back ground of zinc	14
II—8.	Distribution of smoke concentration	14
II—9.	Eddy diffusion coefficient K computed from smoke concentration distribution	34
II—10.	Lateral and vertical eddy diffusion coefficient C_y , C_z computed by O.G. Sutton's diffusion equation using smoke concentration distributions	37
II—11.	Comparison of C and C_z computed from vertical distribution of wind velocities with C_y and C_z computed from smoke concentration distributions	38
II—12.	Comparison of integrated value of surface concentration computed by O.G. Sutton's formula with observed integrated one.	39
II—13.	Comparison of concentration computed by O.G. Sutton's formula with observed one	40
II—14.	Relation between the height of smoke source and the peak concentration	

目 次

λ_p on measuring line crosswind established	41
II—15. Relation between the height of smoke source and the maximum concentration λ_{max} along center line of smoke stream	43
II—16. Vertical distribution of smoke concentration	44
II—17. Relation between eddy diffusion coefficient computed by O.G. Sutton's formula and wind velocities	45
II—18. Vertical distribution of C_y and C_z	47
II—19. Width of smoke spread	48
II—20. Relation between lapse rate of temperature and parameter n	48
II—21. Problems in future	49
Ch. III VENTILATION TIME AND EDDY DIFFUSION COEFFICIENT	49
III—1. Purposes of observation	49
III—2. Method of observation	49
III—3. Observation apparatus and their operations	50
1. Hot wire anemometer for measurement of horizontal wind velocity	54
2. Hot wire anemometer for measurement of vertical flow	54
3. A special anemoscope for breeze measurement	55
III—4. Observation records and analysis	56
1. Ventilation time	57
2. Eddy diffusion coefficient	60
3. Vertical flow	62
4. Comparison between horizontal and vertical diffusion coefficients	62
5. Variation of horizontal diffusion coefficient with height	63
6. Relation between horizontal diffusion coefficient and mean wind velocity	64
7. Relation between horizontal diffusion coefficient and observation time	65
8. Mutual comparison of results observed at each observation point	68
9. Relation between vertical diffusion coefficient and observation time	75
III—5. Problems in future	75
Ch. IV UNDULATION OF THE SMOKE FROM A STACK	76
IV—1. Introduction	76
IV—2. Fluctuation of wind velocity and turbulent air masses	76
IV—3. Undulation and stretch of smoke	78
IV—4. An example of descending air mass	80
IV—5. An example of calculation of the height of descending smoke	83
IV—6. Density of descending smoke	84
IV—7. Initial density of smoke before diffusion	84
IV—8. Remarks	86

PART 2—DATA OF SMOKE DIFFUSION AND METEOROLOGICAL OBSERVATION

1. Data of smoke diffusion	87
2. Data of meteorological observation	92

第1部 調査編

第I章 総 説*

緒 言

原子力研究所や原子力利用工場及核燃料生産工場、その他一切の原子力関連産業工場から排出される放射能汚染空気は、われわれの生活特に保健衛生の面と食料関係に重大な影響をもっている。その影響の大きさは気象条件が媒介物となって決定される。日本原子力研究所の操業も、従って気象状況を見無視することはできず、特に排気煙突から出る放射能汚染空気の拡散現象の実体を事前に把握しておくことが重要である。アメリカではこの研究分野に関してStack meteorologyと称する部門が生れ、専門に研究されている状況である。この点に関しては、わが国では全く手がつけられていなかったと言ってもよい。従って、今回排気煙突の高さ及び森林の拡散に及ぼす影響の観測調査は、この分野に第1歩を踏み入れたものと考えられる。拡散現象は現象そのものも複雑であり、その理論も最近やっとわづかの進歩を見せた学問であるから、今回の調査も不十分なことはもちろんであり、大規模の拡散現象の調査が残っている。従って、今後も調査を一層強力に進める必要があると考えられる。

§ I-1 調査の目的

本調査の目的は2つあり、次のとおりである。

- 1) 研究所の排気煙突の高さを決定し、煙突の風下における汚染空気の拡散と地上濃度とを推定する方法を得ること。
- 2) 松林の滞留拡散効果を風向風速気温の測定から計算し、換気時間を調査する。

§ I-2 調査の方針

目的1) のために煙の拡散現象と気象の観測を行い、これらより拡散係数の算出及び地上濃度と煙源の高さとの関係を求める。担当は気象庁観測部及び気象研究所地球化学研究部である。

目的2) のためには風向風速気温の微細観測より滞留拡散に及ぼす森林の効果を算出する。担当は気象研究所物理気象研究部である。

§ I-3 調査の方法

目的1) のためには地上及びやぐらの上で、発煙筒により塩化亜鉛の白色煙を発生させ、地上に風向と直

交する測定線を設定し、沱紙式集塵器により煙を採集し、化学分析によって煙の濃度を決定し、同時にやぐらに取付けた測定器による風向、風速、気温の垂直分布のデータから煙突の煙の拡散現象に最もよく利用される O. G. Sutton の理論式を利用して、拡散係数及び煙源の高さと地上濃度との関係を求める。

目的2) のためには林内林外において数メートルの高さまで、風向、風速及び気温の垂直分布を熱線風速計及びサーミスターを用いて測定し、高橋、根本の展開した拡散理論式により林内外の拡散係数を算出し、かつ林内の空気の滞留及び交換現象とその算定方法を求めた。

§ I-4 調査の経過

この調査は本観測を含めて、次の3段階に分けて実施されて来た。

1. 予備観測 昭和31年5月29日～6月5日、東海村の松林の気流に及ぼす影響を調査し、現地の状況に応じた本調査の計画樹立の基礎資料を得た。
2. 集塵器試験 昭和31年10月24日～10月30日、各種集塵器の性能試験を発煙筒を用いて、気象庁柏気象研究所構内にて行った。その結果、沱紙式集塵器を使用することに決定した。
3. 本観測 昭和32年1月30日～2月8日、成果は以下各章に記すとおりである。

以上の調査のうち、本観測を実施した組織と主な担当者名は次のとおりである。

気象庁：統 括：観 測 部 長 川 畑 幸 夫
指 導：測 候 課 長 大 田 正 次
企 画：物理気象部長 高 橋 喜 彦
測 候 課 佐々木芳治
管 理 課 門 脇 関 郎
産業気象課長 大 後 美 保
高 層 課 長 北 岡 竜 海
業務協力：東京管区気象台関係官
水戸測候所長 ^{かぶり} 簀 益 夫
現地観測：測 候 課 佐々木芳治
山 口 協

* この章執筆 観測部 佐々木芳治

気象庁:

〃 渡辺 栄二

〃 渡辺 清光

〃 関根 正幸

測 器 課 星 一 男

高 層 課 林 英之介

〃 松丸 貞良

〃 伊藤 光彦

産業気象課 高砂 学

管 理 課 持田 実

〃 大石 正二

〃 井上 重朗

〃 鈴木 信雄

図 書 課 酒井 弘

水戸測候所 平賀 重夫

〃 海老沢 栄二

〃 舟田 久之

〃 萩谷 充

〃 海野 輝雄

〃 目島 豊久

物理気象研究部 高橋 喜彦

〃 相馬 清二

〃 佐粧 純男

〃 塚田 清

〃 徳植 弘

〃 根本 茂

〃 内田 英治

地球化学研究部 島田 利夫

調 査: 測 候 課 大田 正次

〃 佐々木 芳治

〃 篠原 武次

〃 山口 協

物理気象研究部 高橋 喜彦

〃 相馬 清二

〃 根本 茂

地球化学研究部 島田 利夫

映画編集: 図 書 課 加藤 倫祐

〃 酒井 弘

日本原子力研究所

統 括 保健物理部長 青木 敏男

指 導 保健物理部 坂岸 昇吉

以上の一貫した調査について、茨城県庁当局及び東海村役場の方々が多大の援助を寄せられたことに対し深く感謝する次第である。

§ I-5 調査結果の概要

本調査により得られた結果の概要は次のとおりであ

る。

A. 煙の拡散観測

1) 煙源(煙突)の高さと地上濃度ピークとの関係: 距離が遠くなればなるほど煙源の高さは地上濃度ピーク(従って一般に地上濃度)に効いて来ない。

煙源と測定線との距離が300m以上では、煙源の高さが地上0mより数十mまで変化しても、測定線上の濃度のピークはほとんど一定で変化しない。距離が200m位になると少し影響が出て来て、距離が100m位になると煙源の高さは地上濃度のピークに大きく効いてくる。以上をまとめれば問題にする地点の濃度をいくらかきめれば、その地点と煙源間の距離及び煙源の強さに応じて、煙源の高さを逆に定めることができるわけである。

2) 煙の濃度分布より計算した渦動拡散係数は $10^3 \sim 10^4$ のオーダーで、風速の垂直分布より理論的に計算した渦動拡散係数とよく合う。

3) 煙の濃度分布より O. G. Sutton の拡散理論式を用いて計算した一般化された拡散係数 C_y, C_z の値は、風速の垂直分布を用いて計算した C_y, C_z の値とオーダーがよく合い、 10^{-1} 程度である。かつ C_y と C_z とはオーダーが同じで $C_y \leq C_z$ のことが多い。

4) 煙の濃度分布は O. G. Sutton の拡散理論式の示す誤差函数曲線の分布とよく一致する。

5) C_z は敷地では、地上より樹冠の高さに至るまで次第に大きくなり、明かに樹冠による上下方向の乱れが、大きくなっていることを示す。

6) 敷地のような林中開地での風の乱れは広い平坦地の風の乱れの1~2オーダーが大きいことが示された。

7) 煙の濃度の垂直分布も水平分布と同じく誤差函数曲線で表わされる。

8) 煙源と測定線間の地上濃度のピークも O. G. Sutton の式から計算され得ることが実測値を解析することによってたしかめられた。

9) C_y, C_z は風速と密接な関係があり、一般に風速が弱い時 C_y, C_z は大きくなり、Sutton や Oak Ridge の原子力研究所で求められた傾向と一致する。

10) C_y, C_z の計算に気層の安定度のパラメーターとして用いる n は、実際は気層の安定を示す「気温でい減率」とあまりよい相関は示されなかった。

B. 換気時間並びに拡散係数

実用的な面から今回の観測の主なる結果をまとめる

と、
1) 地面から高さ6mまでの層の平均風速を、高さ25mの観測槽上30.7mの高さに取り付けた、Aerovane

による同じ時刻の平均風速 $U_{30.7}$ を基準にして表わすと,

$$\begin{cases} \text{林内開地では} & 0.44 U_{30.7} \\ \text{林内では} & 0.13 U_{30.7} \sim 0.21 U_{30.7} \end{cases}$$

となる。(詳しくは TABLE III-1 参照)

2) 林内開地 (Fig. III-1 観測地点④) における実用上の最大換気時間は、30.7mの高さにおける平均風速が 3 m/sec. のとき 1177 sec. (約 20 min.) となる。(但し、これは風路の方向の最長距離 200 m, Roughness Parameter $Z_0 = 17\text{cm}$, 摩擦速度 $U_* = 17\text{cm/sec}$ として求めたものである)。又地面から高さ 6 m までの層内の空気の平均換気時間は約 147 sec. である。

3) 林内 (Fig. III-1, 観測地点③) における、地面から高さ 6 m までの層内の空気の平均換気時間は、30.7 mの高さにおける平均風速が 8 m/sec のとき 113 sec (約 2 min) となる。(但し、これは風路の方向の最長距離 1200m, 層内の平均風速 136cm/sec として求めたものである。

又この層の実用上の最大換気時間は 10~15 min と推定される。

4) 5分間平均の垂直流の大きさは、最小 1 cm/sec, 最大 14cm/sec で、観測地点⑥の 15.2mの高さ (樹冠部) における 13cm/sec の上昇流を除いては他は下降する場合が多かった。(詳しくは TABLE III-2 参照)

5) 水平方向 (いわゆる縦方向) の拡散係数は観測時間が 2 min 以上、垂直方向の拡散係数は観測時間が 30 sec 以上になると殆んど一定値におちつく。従って林内およびその周辺の拡散を対象とする限り、ある程度長い時間におたる拡散に関しても水平方向に対しては 5 min (あるいは少して多くみて 10min) 程度、垂直方向に対しては 1 min 程度の観測時間について求めた拡散係数の値を用いて、実用上差支えないと考えられる。

6) 観測時間が 5 min の場合、平均風速が 0.6~3.0 m/sec の範囲で、

$$\begin{cases} \text{水平方向の拡散係数は} & 10^3 \sim 10^5 \text{ cm}^2/\text{sec} \\ \text{垂直方向の拡散係数は} & 10 \sim 10^2 \text{ cm}^2/\text{sec} \end{cases}$$

のオーダーである。(拡散係数の詳しい値については TABLE III-2 参照)

7) 5 min 間の観測時間に対する水平方向の拡散係数と、垂直方向の拡散係数の比 K_x/K_z の値は、

$$\begin{cases} \text{林内開地では} & 190 \sim 680 \\ \text{林内では} & 90 \\ \text{樹冠部では} & 22 \end{cases}$$

で、林の直接の影響を受けるところでは、この値が小さくなっている。

8) 水平方向の拡散係数 K_x の高度変化については近似的に、

$$\begin{cases} \text{林の周辺では} & K_x \sim Z^{\frac{7}{10}} \\ \text{林内開地では} & K_x \sim Z^{\frac{1}{2}} \end{cases}$$

なる関係が成立しているように思われるが、観測値が少いのはっきりはわからない。

9) 林内およびその周辺においては水平方向の拡散係数と平均風速との間に近似的に

$$K_x \sim U^2(Z)$$

なる関係が成立し、林内およびその周辺における拡散は林の直接の影響によって発生した渦が主体となっていることがわかる。

§ I-6 本観測実施時の敷地の状況

日本原子力研究所の敷地は、東海村の海岸保安林の一部を伐採して作ったもので、観測を実施した敷地の一部を Fig. I-1 に示す。周囲の松林は樹高数メートルから 20 余メートルにも及び密生している。伐採地は白い砂原となり、平らにならされている。観測当時建築中の建物はウオター・ボイラー型原子炉室、ファン・デ・グラフ室、研究室 (2 棟) で倉庫は一棟完成していた。その他の建物は未着手で、測定線は大体図に示す位置の近辺をわずかに移動させただけです。観測期間中の主風向が N—NE であったことに基因する。やぐらは図に示すように 2 ヶ所あり、発煙は主として 20 m やぐらおよびその方向の地上より行い、風向、風速、気温の垂直分布は 30 m やぐらで行った。砂原の一部に図に示すように、砂山や赤地の山 (数メートルの高さ) 又は作業小屋があり、又研究室の足場構造が大きく組立てられており、これらが煙の乱れを大きくしたこともある。松林の中を通ずる南北および東西方向の道路に沿い風が流れるので、樹冠上の風向と砂原の上の風向はかなり異ることがあり、測定線の設定が中々難しかった。

§ I-7 観測期間中の気象状況*

昭和 32 年 2 月 1 日より 6 日までの観測期間中の気象状況は次のとおりで、天気図を Fig. I-2 に示す。

2 月 1 日

黄海方面 40°N, 124°E にある 1036mb の高気圧が日本海方面にはり出し、関東では全般に季節風が強く晴れていた。東海村附近は等圧線がほとんど南北に通る、雲は波状巻積雲、巻雲が带状に東西によこぎっている程度であった。気温はかなり低く、日中でも 5°C 前後で、日中は 30 m の高さの気温が低く、5 m の高

* この節執筆 観測部 山口臨

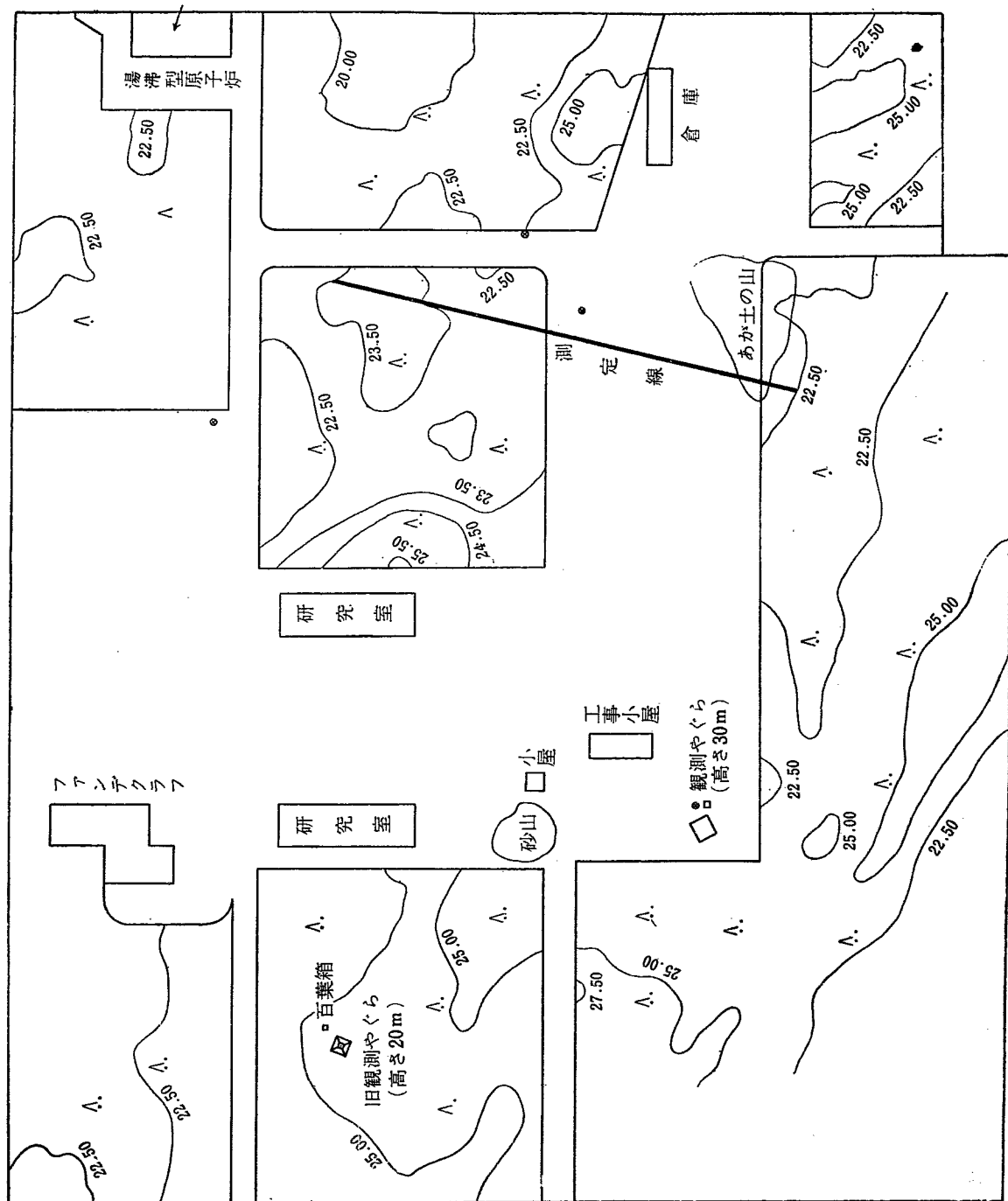
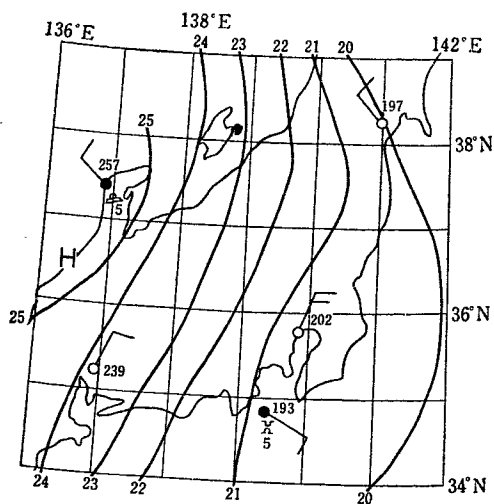
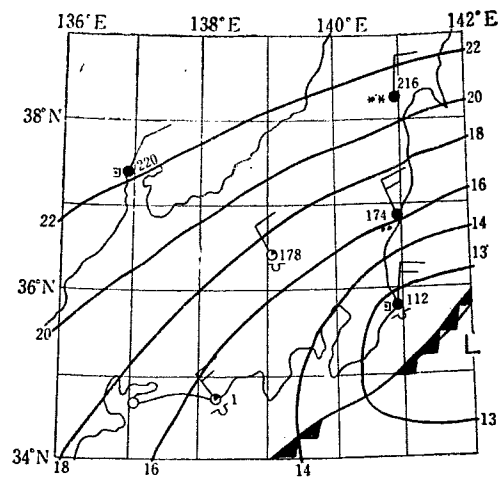


Fig. I-1 日本原子力研究所敷地の概況

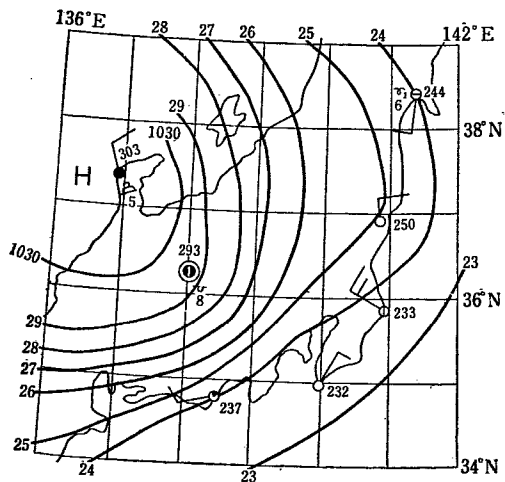
Fig. I-2 調査期間中の天気図 (03h) (水戸地方気象台作成)



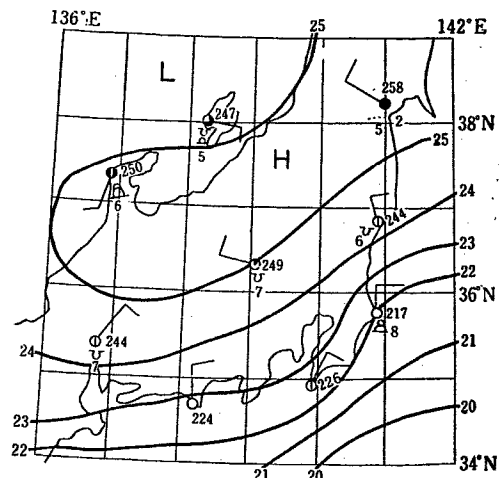
東海村 2月1日 15h
 天気○ 雲量0 雲形Cc 気温(5m) 4.7°C 湿度—
 風向(30m) NNW 風速(30m) 2.1m/sec



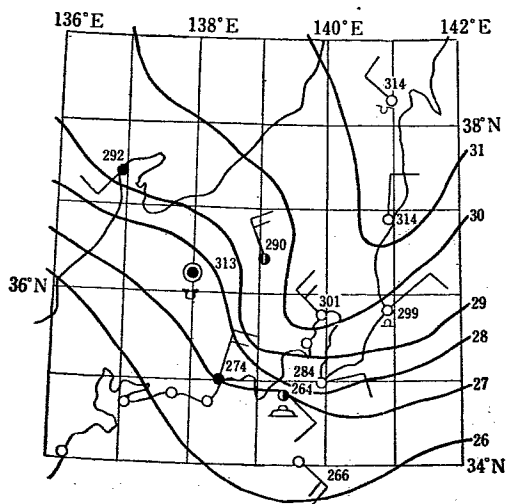
東海村 2月4日 13h
 天気① 雲量5 雲形Cs 気温(5m) 10.0°C 湿度60%
 風向(30m) NNE 風速(30m) 7.0m/sec



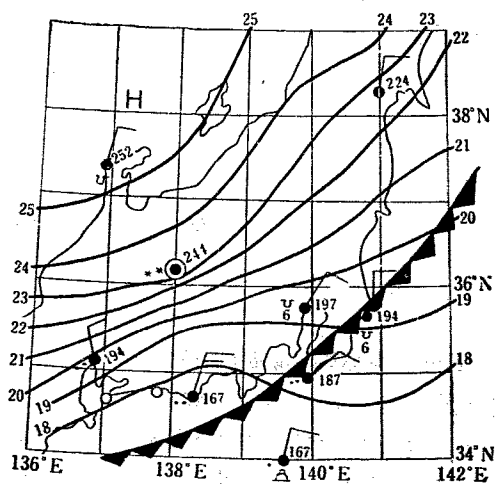
東海村 2月2日 13h
 天気○ 雲量1 雲形Sc 気温(5m) 4.0°C 湿度35%
 風向(30m) ESE 風速(30m) 4.4m/sec



東海村 2月5日 15h
 天気② 雲量10 雲形ScAc 気温(5m) 10.9°C
 湿度73% 風向(30m) ENE 風速(30m) 4.6m/sec



東海村 2月3日 11h
 天気⊗ 雲量10 雲形Ns 気温(5m) 4.6°C 湿度99%
 風向(30m) NNE 風速(30m) 3.8m/sec



東海村 2月6日 13h
 天気⊗ 雲量10 雲形As 気温(5m) 7.9°C 湿度52%
 風向(30m) NNE 風速(30m) 4.4m/sec

さの気温が高かったが、差は 1°C 位であり、夕方頃から 10 m と 5 m の気温が急激に下っていて接地逆転の形成があったようである。

風は NNW 2~3 m/sec で 16^{h} — 17^{h} には風はほとんどなくなっている。

2月2日

満洲方面に中心をもつ 1042mb の高気圧は本邦附近を広くおおい、関東地方は前日にひきつづき全般に晴れている所が多く、東海村も多少層積雲があらわれた程度で、湿度 50 % 以下という乾いた空気が前日からひきつづいて現地を蔽っていた。気温は 5 m の気温が 8^{h} 前後に急激に下って観測期間中の最低を示している (-4.2°C)、30m は逆に 0.3°C という高温で極端に強い逆転があらわれた。日中はかなり上昇して逆転はなくなったが、各高さの気温はやはり低く 6°C 以上にはなっていない。

風は午前中に E 成分が強く、午後から NW に変ったが風速は 4~5 m/sec 位であった。 15^{h} に揚子江河口附近に 1012mb の低気圧あらわれ、東進し始めたので夜に入って雲量は増加して来た。

2日3月

3^{h} に九州の西 33°N , 127°E に低気圧があって 60 Km/hr の速さで東北東進していたため、関東の天気も次第に悪くなり始め、東海村も高層雲から乱層雲と次第に雲が低くなってきた。低気圧は太平洋岸と日本海側とに分裂して本州を横断し、これから温暖前線が太平洋岸に沿って延び、東海村では $9^{\text{h}}20^{\text{m}}$ から雪がふりだした。しかし、低気圧の東進に伴って朝は 0°C 以下だった気温も昇り始め、 8^{h} 前後から 0°C 以上となり午後から夜にかけ次第次第に上昇していった。14^h 頃から雪は雨とかわった。雨量もかなり多く、22^h 前後、低気圧が関東沖をぬけたために風もかなり強まって、日中は 5~6 m/sec の NNE であった風が一時は

9 m/sec になった。

2月4日

3^{h} の天気図では、低気圧は 35°N , 142°E にあって 60Km/hr で依然として東北東進をつづけていた。東海村は低気圧の通過後 3^{h} 頃雨はやんで朝は晴れ上り風も非常に強くなって、10m/sec 前後の NNW—NNE となり、関東地方には強風注意報が出た。気温は日中 10°C 以上となって高さ 30m が低く 5 m が高かった。しかし、シベリヤ方面に低圧部があって北海道北部に高気圧があるため天気は持続せず、12^h 頃から雲量は又多くなって、夕方近くには高層雲とレンズ状の層積雲が全天にひろがってきた。この日、瞬間最大風速は 30m の高さで 17m/sec に達している。

2月5日

日本海北部に低気圧があり、黄海方面に気圧の谷があって、ゆっくり東へ進んでいるので風速は弱まり、天気は曇りであったが気温は 12°C — 13°C 位にまで上昇した、雲は層積雲と高積雲でほとんど全天を蔽った。風は午前中 NW 午後から E—NE となり、風速は 5 m/sec 前後であった。湿度は午前中は 80 % 位あったが、正午頃から乾いてきて 50% 位になってしまった。

2月6日

低気圧が九州方面洋上をゆっくり東北東進していたため、関東地方の一部にも小雨がふり始めた。温暖前線が 31°N 132°E から 32°N 142°E までのび、 42°N 145°E の低気圧からの弱い寒冷前線が東海村附近を通過して 34°N 137°E あたりまでのびているので、東海村では高層雲が全天をおおい、気温は 5°C — 8°C の間をゆるやかに変動し湿度も前日からひきつづき 50% 前後であった。風は NNE から 5~6 m/sec 前後であったが、 15^{h} に 1008mb の低気圧が 28°N 126°E にあってゆっくり東北東に進んできたため、夜に入って次第に風速は強くなってきた。

第Ⅱ章 煙の拡散観測*

§ II-1 煙の拡散観測に必要な条件

煙の拡散観測から乱れの大きさ、拡散係数、最大濃度の大きさとその位置、煙源の高さと濃度との関係等を完全に解析調査するためには、少くとも次の事項が必要である。

(1) 煙の濃度の空間分布の連続記録

(2) 煙の時間変化の連続記録

(3) 風の垂直分布の測定

(4) 気温の垂直分布の測定

従って煙の拡散観測ではこれらの事項を満足する観測を行わなければならない。しかし、(1) (2) の条件

* この章執筆 観測部 佐々木芳治

を満たすことは非常にむずかしく、単に測定器やそれを搭載する乗物の種類や構造のみならず、発煙剤の種類とその性質によって測定方法が異ってくる。最近アメリカでは硫化亜鉛（螢光性物質、無害）の微粉を空中に流し、航空機によって煙の中を横断し、硫化亜鉛をインパクターで採集し、時計仕掛で動く粘液を塗布した自記紙に附着せしめ、後紫外線を照射して硫化亜鉛の螢光の強さによって煙の濃度の時間空間分布を測定している。(1) (2) (3) の条件はアメリカではゾンデ、けい留気球、観測塔 (100m) 等により比較的簡単に資料を得ている。

今回の調査は、対象が一敷地周辺の小範囲で、地上濃度の分布を最も重要とするので、空間分布はあえて問題にしないで、地上における分布と時間的変化を得たい所であったが、地上分布の測定も機動力のある測定方法⁽²⁾（例えば手軽に持ち運べる軽量廉価で、しかも測定値が信頼できるもの）が必要である。しかしこれも調査の結果間に合わないことが解り自記装置も簡単ではないので、後に述べる最も簡単である代り平均的又は積算的な値を扱う方法に落ち着いた。

風速の垂直分布は拡散現象の解析に最も重要な要素であるが、今回の調査では発煙やぐらと観測やぐらを1つのやぐらで兼用させなければならず、又木造とするので構造上高さの制限があるため、高さも 30 m 止りとなり、充分な風速分布を得たとは云い難かった。又、煙源の高さと地上濃度との関係を理想的に調査できる 100m 塔の建設はもちろんできなかった。やぐらの位置も気象観測からは砂原の真中がよいのであるが発煙やぐらとしては調査期間の風向から北側に寄せねばならず、Fig. I-1 に示す位置になり、樹冠の影響のため風速の垂直分布が煙の流れた砂原上空の垂直分布とはかなり異った値を示し、濃度分布の解析にはそのままではかなり不適当となった。

測定器に機動性がないので、測定線が固定し、従って風向が変化すると煙が測定線を通りなくなり、測定値の信頼度と解析が難しくなる。よって今回は、煙源の位置の方を移動する方法をとったが、これは又地形地物のため適当な位置がとれなかったり風向が変化してだめになったり、測定上この点が一番難しかった。是非とも機動性のある測定器を作る必要があることが痛感された。

§ II-2 塩化亜鉛の煙を選定した理由

煙の拡散観測に用いる煙は次の性質を有することが必要である。

(1) 人畜、植物に無害であること

(2) 発煙が容易であること

(3) 煙の成分の検出が容易かつ鋭敏であること

(4) 粒子の大きさ及び重さが捕集に適していること

(5) 煙粒子が空気中において浮力のため上昇又は沈降しないこと

(6) 亜鉛の大気中や雨水及び砂又は汚紙中に含まれる量 (Back Ground) が極めて少いこと

(7) 必要あれば煙に着色が容易であること

(8) 入手が容易であること

(9) 発煙剤の薬品に爆発、漏洩等の危険がないこと

(10) 運搬が容易であること

以上の性質を全部備えることはむずかしい。人工降雨の核に用いる沃化銀は最も鋭敏に検出でき、粒子も小さく、拡散現象を表すには適当であるかもしれないが発煙の装置が少し大仕掛になり、かつ沃化銀が高価であると共に、観測装置がコールド・ボックスを使用し、たえず人が目測するか、写真撮影を行わなければならず、多数の測定器を同時に作動せしめるのは人手と技術の点で困難であった。又アメリカで使用した硫化亜鉛 ZnS は本邦での製品が手に入るか否か分らず、それを微粉にする機械構造がよく解らないので、これも不採用にした。塩化アンモニウム煙は都合のよい点もあるが、連続発煙装置とその運搬に困難性があると思われる。

ここに、戦時中アメリカ軍が煙幕に使用し、現在わが国において農業倉庫の殺虫の時のメバリの完全不全を調べる時に用いられる塩化亜鉛は、上記の諸性質をほとんど兼ね備えるので、この煙を採用することにした。ただ(3)の検出には多少複雑な分析操作が必要であるが、分析の限度は $1r$ (10^{-6} gr) で微量分析ができ、かつ Back Ground が少い点が長所である。又(5)の条件は、この煙粒子が非常な吸湿性であるため、粒子が大きくなり $7 \sim 8$ ミクロンにも達するので長距離移動中は自重による沈降が加わる危険があるが、今回の調査の時の距離では、ストークスの式の計算によると沈降は極く僅かであるから差支ないと考えた。この点については後に述べる。

§ II-3 測定器の選定

塩化亜鉛の煙の粒子の捕捉には、この器械が適当かどうかを決定するために、各種集塵器の性能試験を行った。即ち、昭和 31 年 10 月下旬に気象庁の柏研修所構内において、電気集塵器、インパクター（汚紙式集塵器）、インピンジャー及びセロテープ面を同一場所

TABLE II-1 集塵器の比較表

昭和31年10月

実験日時	電気集塵器			インパクター			インピンジャー			セロテープ	
	吸引時間(分)	吸引量(L)	Zn (γ)							板	筒
25日	15	450	B.G. 106*	15	398	B.G. 1.8					
" 1416	3	90	729								
26日 1445	5	150	1590	5	130	245	5	100	495	112.5	
27日 0954	3	90	268	3	81	75	3	48	440	135	39
" 1047	4	120	55	4	108	170	4	34	132	178	34
" 1147	4.3	128	725	4.3	115	8.0	4.3	36	109		
" 1406	5	150	B.G. 40.4 (・27γ/L)	7.5	203	B.G. 7.2 (・03γ/L)	5	48	B.G. 25 (・53γ/L)		
" 1424	10	300	128	10	270	256	10	160	44	133	182.5

* B.G. : Zn の Back Ground 汚染のため信頼性が小さい

実験日時	Back groundをひいた Zn量 (γ/L)			" (γ/100cm ²)			天気	風向速	気温	湿度	距離	ソース
	電集	インパ クター	インピン ジャー	セロテ ープ板	セロテ ープ筒							
26日 1445	10.3	1.9	4.4	1.7			⊗	NE 2.2	13.8	69	52	gr 200×2
27日 0954	27	0.9	8.6	3.8	3.7		①	NW 3.2	15.3	59	68	1K×1
" 1047	0.0	1.5	1.8	7.8	2.1		①	NW 3.4	16.1	59	82	1K×5 (line 2回)
" 1147	5.4	0.0	2.5				①	N2.8	16.7	60	54	1K×4 (line)
" 1424	0.1	0.9	-0.3	3.6	37.0		①	N2.5	17.0	58	150	1K×2

に設置し、風向を見定めて適当な地点から発煙し、各種測定器を同時動作せしめ、集煙量を比較した。その結果を TABLE II-1 に示す。表には塩化亜鉛の化学分析による亜鉛の量を示してある。

この実験の結果、亜鉛の混入する危険のある水を使用するインピンジャーは捕集がよくても分析の結果の信頼性が小さくなることと、蒸溜水でも2～3度再蒸溜しないと測定に使えず従って手数がかかり、かつ本観測が冬期になった場合、寒風吹く野外で水を採取することは避けた方がよいのでまずこれを除外した。残る電気集塵器とインパクターでは、発煙点と測定器間の距離が遠くなると、インパクターの汚紙による捕捉がよくなる傾向があり、本観測においては、これよりも長距離発煙を行う予定で、鉛化亜鉛の粒子はの場合よりも大きく成長し(鉛化亜鉛粒子は次節に述べるように非常に吸湿性で、浮游中に数ミクロン～10ミクロン程度まで生長すると考えられる)、一層インパクター

で捕捉されやすくなるであろう。一方、電気集塵器では大粒子のため粒子の慣性が大きくなり、集塵管壁に付着しにくくなると思われる。従って本観測ではインパクターを用いることに決定した。セロテープ面への煙粒子の吸着はそのデータの解析が難しいので本観測では不採用にした。

§ II-4 塩化亜鉛の煙粒の大きさとその落下速度*

各種集塵器の比較試験の結果、塩化亜鉛の煙と汚紙をつけたインパクターを用いることに決定したが、塩化亜鉛の煙粒の大きさは、煙の稀釈を拡散現象として扱うことの妥当性および汚紙をつけたインパクターで煙を捕集する率を考えるのに必要となってくる。塩化亜鉛は吸湿性が大きいので、普通の煙の粒子よりも大きく、恐らく数ミクロン程度の平均直径をもった分布を示すのではないかと考えられるため、気象技術者がよく雲粒の測定などをするとき用いるような方法で

* この節執筆 観測部 篠原武次、佐々木芳治

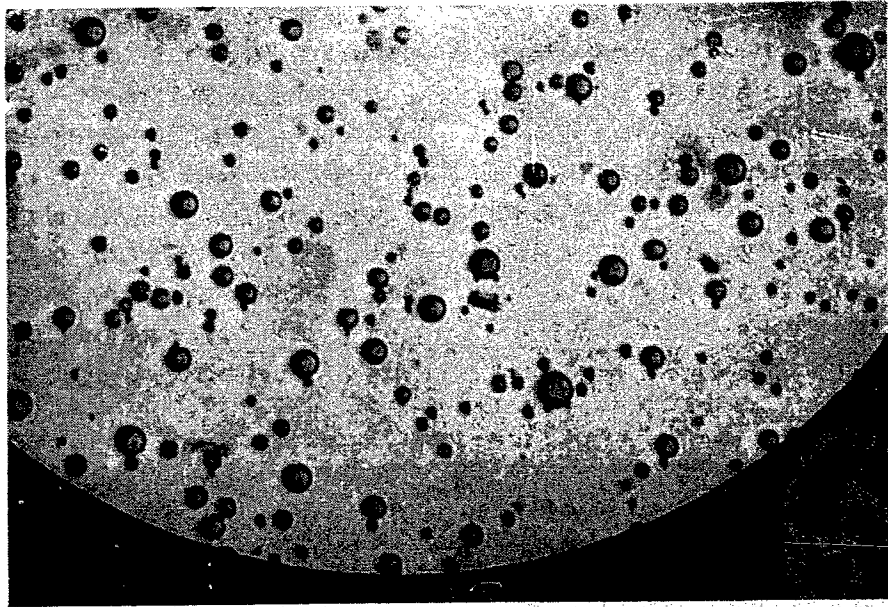


Fig. II-1 塩化亜鉛粒子の顕微鏡写真 (600倍)

昭和 31 年 11 月 26 日 16 時 煙源からの距離約 50cm 5分放置後撮影 気温 11.7°C 湿度 81%

測定することにした。(雲粒の直径は 20ミクロン程度)
 1956 年 11 月 26 日気象庁構内の塵埃焼却用煙突内で
 200 gr 発煙筒を発火させ、デッキグラスに真空ポンプ
 用オイルを塗布したものに煙をあて、約 20 分後に顕微
 鏡撮影(オリンパス製、約 600 倍)を行い(Fig. II-1)
 顕微鏡視野の任意の一部分を引伸し印画とし、印画上
 の全粒子の直径を測定して大きさの百分率を算定した
 (TABLE II-2, Fig. II-1, Fig. II-2 参照)。

TABLE II-2 煙の粒径の測定値

直 径 (μ)	個 数	発煙筒から 50cm の距離 で油膜にサンプリングし たもの ①	水で飽和したガラス容器 に 5 分間おいた後油膜に サンプリングしたもの ②
1	15	0	3
2	53	41	37
3	60	55	73
4	34	33	73
5	18	7	44
6	6	6	23
7	1	0	8
8	0	1	1
9	0	0	0
10	0	0	0
計	187	143	262
一般的な 気象条件	気温 11.7°C. 湿度 81 % (11月26日, 気象庁構内にて)		

デッキグラスによるサンプルは発煙筒から 50cm 程
 離れた位置でとったものと、湿ったガーゼを入れては
 ぼ飽和したと思われるガラス容器の中に煙を入れ、約

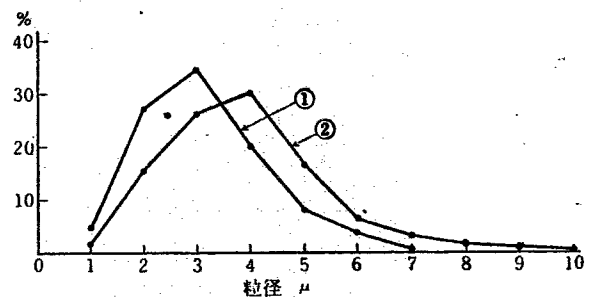


Fig. II-2 粒径の度数折線、①②は TABLE II-2 のものに該当
 5 分間放置してとったものがある。前者にあつては粒
 径の最多値は 3 ミクロンであるが、後者は 4 ミクロン
 で、この差異はあるいは粒の生長によるものかもしれ
 ない。もっとも、いずれの場合も 1 ミクロンから 6 ミ
 クロンまでの範囲に全数の 90 % が含まれてしまう。

もっともこの実験においては、粒がガラス板に捕捉
 される率は粒径には無関係であるという仮定がなされ
 ているのであるが、実際は必ずしもそうではないから
 多少の修正が考えられ、おそらく粒径の平均値はもっ
 と小さいほうにかたよるであろう。

吸湿性物質の粒子の成長速度は、その発生初期にお
 いて極めて急激で、後急速に減少することはすでにい
 る。いろいろの吸湿性物質について実験が行われており、例
 えば NaCl については 7~6°C の飽和水蒸気中で最初
 の 1 分 30 秒ではほぼ成長が終るが¹⁾、ZnCl₂ はこれ以上
 吸湿性であることは Fig. II-1 から推定できる。即
 ち、発煙筒から 50cm の距離で採集したことは発煙後
 2~3 秒後に採集したことを意味し、(この時湿度 81
 %, 気温 11.7°C) これと飽和水蒸気中に 5 分間放置

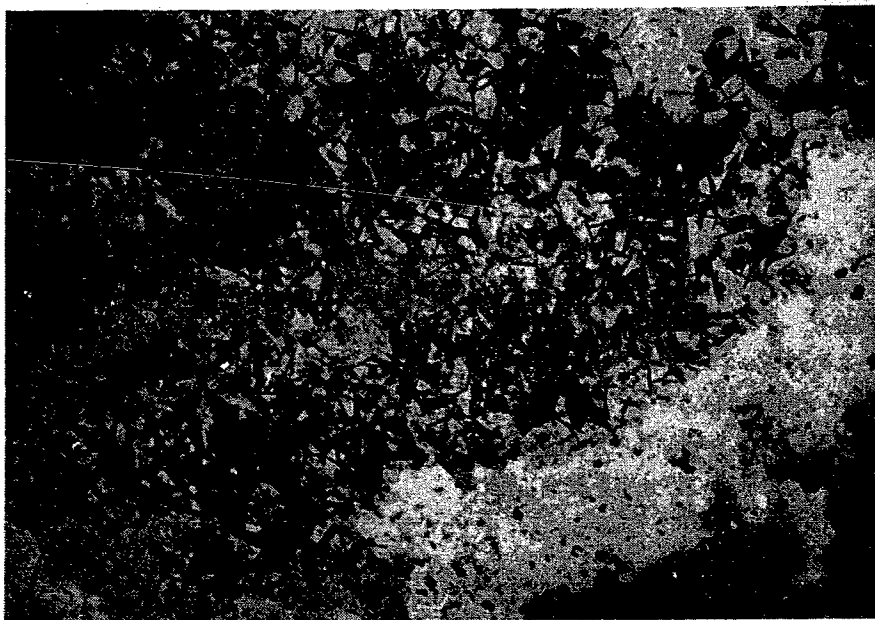
した後採集したものとの粒径分布を比較すると、ピークは後者が前者よりわずか1ミクロン大きく、全体も大体1ミクロン大きい方によった形であることを見れば、すでに数秒間で成長がほぼ終わっていると見てよいであろう。従って本観測の測定時にたとえ不飽和空気中であっても発煙後大体 30~100 秒に採集される ZnCl_2 粒子は成長が終り、その大部分は4ミクロン前後か、あるいはそれよりもっと大きい粒子であると考えてよいであろう。従ってフィルターとして用いる東洋戸紙 No.5A にはまずすべて捕捉できると考えてよいで

あろう。もっとも戸紙の捕捉率は数量的に証明されていないが、経験的にかく考えてよいであろう。

なお塩化亜鉛の粒子をカスケード・インパクターによって捕え、電子顕微鏡でその結晶形を見たのが Fig. II-3, A, B に示してある。

塩化亜鉛の結晶は酸化亜鉛に似て針状結晶をなしており、発煙筒から噴出する時、結晶の幾つかが集り団塊となって飛散する。この結晶の集った数が粒子の大きさを基本的に決定するもので、結晶数の少いものは小さく、多いものは大きい水滴になっていることが

A. カスケード・インパクターで採取し、未だ充分吸湿しないもの



B. 多少吸湿して結晶形が崩れ始めたもの

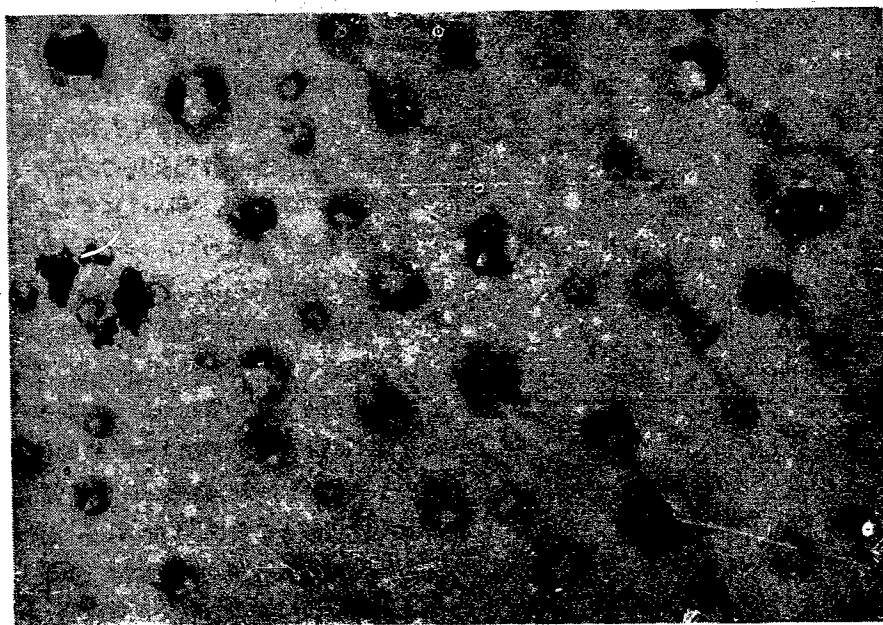


Fig. II-3 塩化亜鉛の電子顕微鏡写真 (1200倍)

Fig. II-3 B から明らかに分る。結晶形も吸湿によって針状がくずれ角がとれて球形状になって来ている。粒度分布から 3~4 ミクロンの大きさのものが多くのは、吸湿成長してこの大いさになるような結晶数の集りのものが噴出時に最も多量に生産されることを示すものである。

次に塩化亜鉛の粒子が自重によって沈降する速度が大きいと、Sutton の拡散式の仮定を満足しなくなるので、今その速度を計算してみよう。

静止空気における球形の微粒子の落下速度 v は次式で表わされる。

$$v = \frac{2}{9} \frac{r^2 \rho g}{\eta} \left(1 + 0.9 \frac{l}{r}\right) = 1.20 \times 10^6 \rho r^2 \left(1 + 0.9 \frac{l}{r}\right) \text{cm/sec}$$

r : 粒子の半径, ρ : 粒子の密度, g : 重力加速度

η : 空気の粘性係数, l : 空気分子の平均自由行路

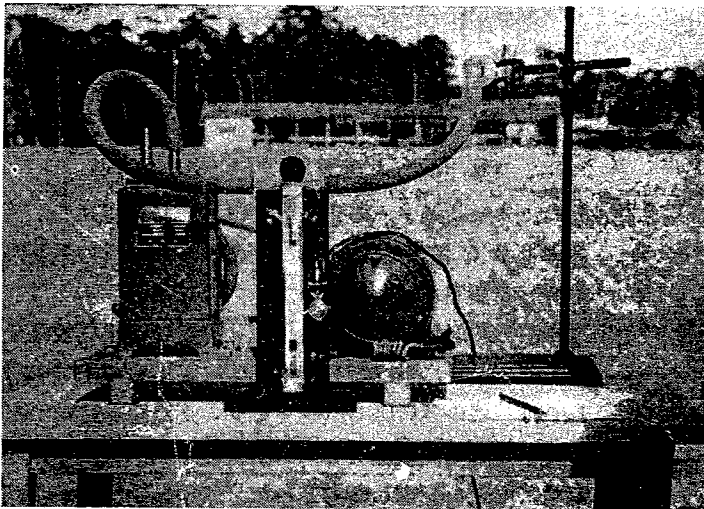
これは Stokes の式に Cunningham Correction を

施したもので、この場合 $r = 2 \sim 5 \times 10^{-4} \text{cm}$ にくらべ平均自由行路 $l = 10^{-5} \text{cm}$ 程度であるからカッコの内は省略してよい。塩化亜鉛の粒子の密度 ρ は 2.92gr/cm^3 であるから、例えば $r = 2$ ミクロンの時の v は $v = 1.2 \times 10^6 \times 2.92 \times (2 \times 10^{-4})^2 = 1.4 \times 10^{-1} \text{cm/sec}$ となり、今回の調査で使用される発煙槽から測定線までの最大の距離約 300 m を煙が流れる間 (風速 1 m/s なら 300 秒) に落下する距離は無視してよい。

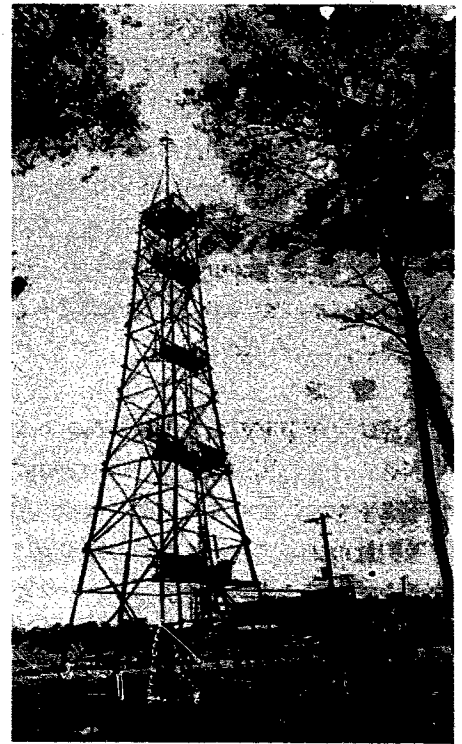
§ II-5 煙の濃度測定方法

1. 発煙剤

発煙剤としては三光化学 K.K の 1 kg 発煙筒及び 200gr 発煙筒を用いた。測定には連続一点発煙及び連続線状発煙とするため、これらの中絶することのないよう人手によって次々に点火発煙した。煙は白灰色で多少臭気あるも煙中にての作業は支障ない。発煙点の高さは地上 0 m からやぐら上 19.7 m まで上下できた。



A. 集じん器



B. 観測やぐら

Fig. II-4 観測装置

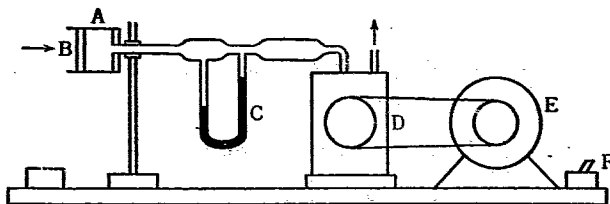


Fig. II-5 煙の濃度測定器

A: インパクター B: 濾紙 C: マノメーター
D: 真空ポンプ E: モーター F: スイッチ

地上 6 m までは青竹 3 本を交叉させ頂上に滑車をさげバケツに発煙筒を入れて綱により上下した。

2. 測定器

測定器は Fig. II-5 の模型図及び Fig. II-4, A に示すようなもので、インパクターには直径 32mm の東洋濾紙 No. 5 A を一枚はさみ、これをセンコ型油廻転真空ポンプ (モーターは 1/4 馬力単相誘導電動機) によって煙を吸引し、濾紙に塩化亜鉛の粒子を捕捉せ

しめる。吸引量は予め検定しておいたU字管マノメーターの水圧差によって計算する。真空ポンプの吸引量は約 20 l/min である。

この測定器を 11 台直線にかつできるだけ等間隔にならべ、風向と直角になるようにする。そのため予め 200gr 発煙筒によって砂原の風を調べ、日中の日変化も考慮して測定時刻に測定線が風向と直角になるようにする。実際はこれが一番難しく、機動性のない測定器はこの点で設定に長時間を要し、能率が落ちた。

ポンプの吸引量の算定は大切であるから、マノメーターはできるだけ多く読取り、時間もストップウォッチにて秒まで読んだ。

塩化亜鉛を吸収した濾紙は必要事項を書込み、デシケーターに入れて化学分析時まで保管しておく。

3. 亜鉛の Back groundの種類

この濾紙式インパクターの方法では塩化亜鉛の粒子ばかりでなく、大気中に含有される亜鉛化合物や他のオリジンから出た煙粒子や、又風が強い時砂地から舞上った砂ほこりや松葉に付着していたほこりも捕捉され、化学分析の時はこれらの亜鉛量も測定値に含まれてくるので、煙の亜鉛量の算出には、これらの量を総括した亜鉛の Back ground を差引かなければならない。そのため発煙の前数10分に亘って自然大気を吸引し、その Back ground を測定した。煙の測定前後に行えば理想的であるが、時間の関係上1日1回行ったが多い。

4. 電源

電源は交流 100V の電燈線からとり、砂原の真中まで引込み、且つ測定線が長い時は 200m にもなるので電圧降下をし、モーターの廻転速度に差ができ、従って吸引量が異ってくると亜鉛の測定値の信頼度が悪くなるので、トランスで電圧のドロップを防ぎ、かつ誘導電動機でスイッチを同時に全部入れると 50~60 アンペアの電流が流れるので、容量の充分大きい (10KW を用いた) トランスを用い、スイッチも分割して入れた。

5. 気流観測

煙の中心線の位置がどこかを知らるため、発煙中は小さい気球に水素ガスをつめ、鍾を加減してノンリフトの状態にし、発煙点からか又できるだけ、その近傍から放って、その航跡を目測し、地図上に書込んだ。ピーク濃度の位置、煙の流れる途中の変化など、測定値の解析に参考となる。測定回数は多いほどよいが、今回は早くて1分おき位になった。

6. 気象観測

煙の拡散現象の解析には風速、気温の垂直分布が最も重要な要素となる。今回の調査には Fig. II-1 に示す位置に設置したやぐらに Fig. II-6 に示すような高さに測器を取付けた。Fig. II-4 B エーロペンとしてはコーシンペンをを用い、サーミスターは棒状サーミスターを用い、2 エレメントを1つの自記器に記録さ

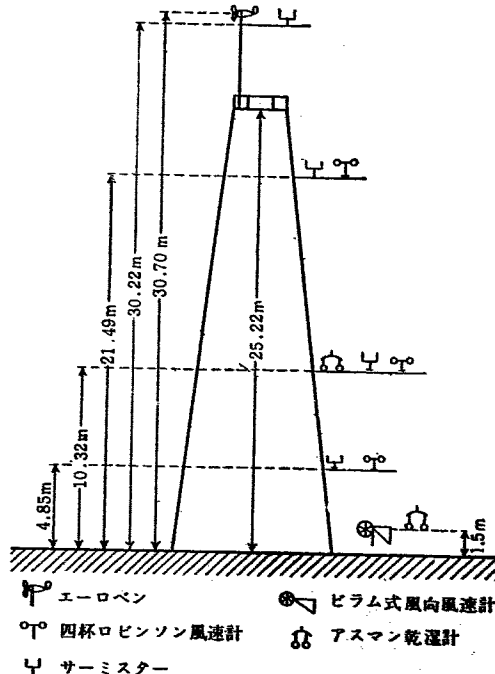


Fig. II-6 東海村観測やぐらの気象測器の高さ

せた。サーミスターの自記装置は普通の打点式で、精度は 0.2°C 位であるから、傾度の小さい時の気温の垂直分布測定にはむかない。

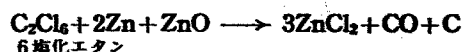
やぐらに取付けた測器の自記装置及び指示装置は全部やぐらの下に設けた 3 坪の小屋に収納して記録を行わせた。この外砂原の真中でビラム式風向風速計により風を発煙時間中測定し、又松林の中にある百葉箱で気温、湿度を測定し参考とした。気象観測資料は資料の部に掲載してある。

7. 写真撮影

煙の運動の状況を 16mm シネカラーフィルムで撮影し、濃度分布の解析の参考にすると同時に、35mm モノクローム及びテクニカラーフィルムで煙の状態の撮影を行った。

§ II-6 煙に含まれる亜鉛の定量分析*

発煙筒より生ずる煙は次のような組成をしている。



この反応により ZnCl_2 : 91%, CO : 6%, C : 3% (重量比) の割合で生成される。主成分である塩化亜鉛を

* §II-6, II-7 節執筆 気象研究所 島田利夫

比色定量して煙の濃度分布を求めた。

亜鉛の微量分析法には2つの方法があり、①ジチゾン試薬による方法で亜鉛量0.003 mg あれば分析可能② Sod. diethyldithiocarbamate による方法で1 mg/l の Solution が10cc 位あれば分析可能で限度は 10^{-4} mg $\sim$ 25×10^{-3} mg の範囲で、いずれにせよ他の金属にくらべ鋭敏に検出できる特徴がある。ここではジチゾン法を用いた。

煙中の塩化亜鉛の採集は沓紙式集塵器により、沓紙(東洋沓紙 No. 5 A, 直径32mm)に附着させる。これらの沓紙はデシケーター中に保存される。

1. ジチゾンによる亜鉛の定量

(H. Fischer 及び G. Leopoldi の方法⁵⁾)

ジチゾンは極めて微量の亜鉛の検出並に定量に用いられる良法である。次に挙げるような金属イオンが共存する時は定量が不確実になるが、それぞれ適当な遮蔽剤の使用によって共存イオンの影響を除くことができる。すなわち、Ag, Pb, Cu, Hg, Au, Bi, Cd についてはチオ硫酸ソーダを遮蔽剤として使用することにより妨害が避けられる。Co, Ni, 及び Pd はシアン化加里により完全に遮蔽される。チオ硫酸ソーダとシアン化加里を同時に遮蔽剤として用いれば、妨害元素全部を遮蔽することができる⁶⁾。

Fe はジチゾンと錯塩をつくることはないが、多量に存在すればジチゾンの一部が酸化されて溶媒の四塩化炭素層に黄色の着色を来すことがあるので、直接比色法の場合は困難があるが、ここで用いた混合比色法であると何等支障はない⁷⁾。

2. 試薬

1) ジチゾン試薬溶液。約6 mg のジチゾンを100 cc の四塩化炭素に溶解する。四塩化炭素は2回蒸溜して用いる。

2) 再蒸溜水。使用する蒸溜水は2回蒸溜する。ジチゾン溶液と充分振盪しても呈色反応を示さないことを確かめておく。

3) 酢酸ソーダ溶液。5gr の酢酸ソーダを100cc の水に溶解する。ジチゾン溶液と振盪して着色物を抽出したものを用いる。

4) チオ硫酸ソーダ溶液。50gr の $\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ を100cc の水に溶解する。ジチゾン溶液と呈色反応する場合には、ジチゾン溶液で十分に抽出したものをを用いる。

5) シアン化加里溶液。5 g の最純 KCN を100cc の水に溶解する。

6) 亜鉛標準溶液。金属亜鉛を稀塩酸に溶解し、蒸

溜水にて希釈して用いる。使用した標準溶液は1cc が亜鉛 1r に当る。

3. 定量分析操作

沓紙式集塵器の沓紙をルツボにて灰化して0.01N 塩酸にて溶解し洗い出し、再蒸溜水にて繰返し洗滌する。総量を約20cc $\sim$ 100cc にする。亜鉛量が1cc 当り1r 位になるようにする。これより2cc $\sim$ 10cc を分液ロートに採取し、蒸溜水にて約20cc とする。これで、分液ロートの中の亜鉛量は大凡そ2 $\sim$ 5r 位に納めることができる。次に、1N 塩酸にて弱酸性にして褐色ビュレットからジチゾンの四塩化炭素溶液5cc を加えて振盪し、ジチゾン溶液の緑色に呈色があればCu, Co 及び Ni の存在が確かめられる。ジチゾン溶液の緑色に変化しなければこれらの金属は存在しない。試料中には上記の金属による呈色は見られなかったので、実際の操作からは省略している。分液ロート中の四塩化炭素層は注意して分離し、純四塩化炭素2cc にて洗滌する。分離した水層に酢酸ソーダ溶液を加えてpH5.5 として、ジチゾンの四塩化炭素溶液を5cc を加えて烈しく振盪する。このさい存在する亜鉛の量に応じて四塩化炭素層は紫色から赤紫色に呈色する。四塩化炭素層を分離し、再びジチゾン溶液1cc を加えて振盪を繰返えす。呈色反応が起らなくなるまで繰返えす。しかし分液ロート中の亜鉛量が2 $\sim$ 5r ならば1回目に加えた5cc のジチゾン溶液で完全に亜鉛と反応して青色から赤紫色に呈色し、2回目のジチゾン溶液を加えてもその緑色は変化しない。四塩化炭素層を分離し、純四塩化炭素で洗滌し、抽出液、洗液はすり合わせの栓のついた比色管に合併して、混合比色法によって測定する。すなわち抽出物は四塩化炭素溶液中において緑色のジチゾンと赤紫色のジチゾン亜鉛との混合の割合の変化に従って色調が極めて鋭敏に変化することを利用したもので、迅速に正確に定量ができる。

次に、他の分液ロート中に抽出物と同容のジチゾン四塩化炭素溶液を取り、両者を比色に都合のよい濃度まで四塩化炭素で希釈する。ジチゾン四塩化炭素溶液の方に、試料の場合と同じく酢酸ソーダ緩衝液を加えpH5.5 となし、マイクロビュレットから亜鉛の標準液を少しづつ滴下して強く振る操作を続け、四塩化炭素層の色調を試料溶液の方のそれと比較し、両者が丁度一致するまでに要した標準溶液の容積から試料溶液の亜鉛量を求める。使用する硝子器具は総て稀硝酸にて洗い、再蒸水にて良く洗滌して用いる。

4. 混合比色法の精確度

蒸溜水30cc に0.1r $\sim$ 5.0r の既知量の亜鉛を加え

て比色定量した結果は、TABLE II-3 に示すようになる。誤差は 0.1 γ 以下である。

TABLE II-3 混合比色法の精度

亜鉛量 γ	実験値 γ	差 γ
0.1	0.1	0.0
0.2	0.2 ₃	+0.03
0.3	0.3 ₁	+0.01
0.5	0.5 ₂	+0.02
0.7	0.6 ₈	-0.02
1.1	1.0	-0.1
2.0	2.0	0.0
3.0	3.1	+0.1
5.0	5.1	+0.1

5. 光電比色計による確め

肉眼による比色管の比色の確めとして、日立製光電比色計を使用して比色定量した。波長 540 μ 、スリット幅 0.15 mm。試料溶液と標準溶液の四塩化炭素層の透過度の差は 2% 以内であって、肉眼による比色で充分であることを確めた。しかしこの条件はジチゾンの四塩化炭素溶液 1cc につき亜鉛約 1.5 γ であって、四塩化炭素の色調が青色を呈する場合であって、赤紫色になると肉眼による比色の方が大きい値を示すようである。

§ II-7. 汚紙の亜鉛量と亜鉛の Back Ground

1. 汚紙の亜鉛量 (ブランク・テスト)

東洋汚紙 No. 5 A、径 32mm の汚紙 1 枚に含まれる亜鉛は TABLE II-4 に示すように平均値 0.2 γ である。従ってこの量を見ても煙の濃度分布には影響がない。

TABLE II-4 東洋汚紙 No. 5 A (径 32mm)
1 枚に含まれる亜鉛量 亜鉛標準溶液 1 γ /cc

番号	汚紙枚数	使用した亜鉛標準液量 α cc	亜鉛量 γ /枚
1	1	0.1 ₈	0.1 ₈
2	2	0.4 ₀	0.2 ₀
3	2	0.4 ₂	0.2 ₁
4	2	0.3 ₄	0.1 ₇
5	2	0.3 ₄	0.1 ₇
6	10	2.0 ₀	0.2 ₀
7	10	2.0 ₀	0.2 ₀
			平均 0.2

2. 亜鉛の Back Ground

塩化亜鉛の煙を選んだ理由の一つは、亜鉛の Back Ground が少いだろう、従って汚紙による濃度測定値の信頼度が大きくなるであろうとの見込からであっ

TABLE II-5 亜鉛の Back Ground の測定値

月 日 時 分	集じん器 番号	吸引量 (l)	亜鉛量 (γ)	亜鉛量 (γ /D)
2.1 14.20—14.40	第1回 1	376.0	0.2	0.5×10^{-3}
	発煙 4	347.4	0.6	1.7 "
	7	408.0	0.2	0.5 "
	8	432.0	0.6	1.4 "
2.2 12.40—13.20	9	486.0	1.0	2.0 "
	第2回 1	825.6	1.8	2.2 "
	発煙 6	804.0	0.3	0.3 "
	第4回 6	865.6	3.3	3.8 "
2.3 9.55—10.35	発煙 9	881.6	0.8	0.9 "
	第5回 3	596.4	1.8	3.0 "
	11.30—11.45	621.6	1.8	2.9 "
	11.51—12.04			
2.5 11.50—12.50	第9回 5	1236.0	0.2	0.2 "
	発煙 7	1230.0	1.2	0.9 "
2.6 10.45—11.45	第11回 3	1271.4	1.4	1.1 "
	発煙 8	1060.2	0.2	0.2 "

た。実際の Back Ground の測定値 (TABLE II-5) を見ても非常に小さく、煙の亜鉛量にくらべてすべて無視できるほどである。ただ Back Ground の量の相互間にはかなり変動があり、同一時刻でも場所によってかなり異なることもある。2月4日は風が強く、(地上 4.4m/s) 砂ぼこりの吸引で値が大きく出たと考えられる。2月3日の測定値も一方が大きく出ているが、これは汚紙の亜鉛がたまたま大きかったのか、砂ぼこりのせいか分らない。

§ II-8. 煙の濃度分布

この汚紙式集塵器による測定線の位置と、ノンリフト・バルーンの航跡とを各発煙毎に示したのが Fig. II-7 であり、各回の煙の濃度、すなわち亜鉛量の分布及びその時の気温、風速の垂直分布を示したのが Fig. II-8 である。各発煙毎の発煙資料及び気象資料は第2部資料編に示してある。

煙源は点源の連続発煙とし、発煙時間は数分より30数分に亘る。従って微粒子の採集時間も大体これと同じである。煙源の強さは亜鉛について約 0.9—2.0 gr/sec の範囲であり、高さは地上 0—19.7m (予備観測に使用した発煙槽上) の間にある。発煙点と測定線との距離は約 30m—275m の範囲にある。観測期間中の風向はほとんど N—NE—E の間で、N—NE 間が一番多かった。S—SE の風の時の観測は2回(第2回及び第3回発煙)しかない。風速はあまり大きくなく

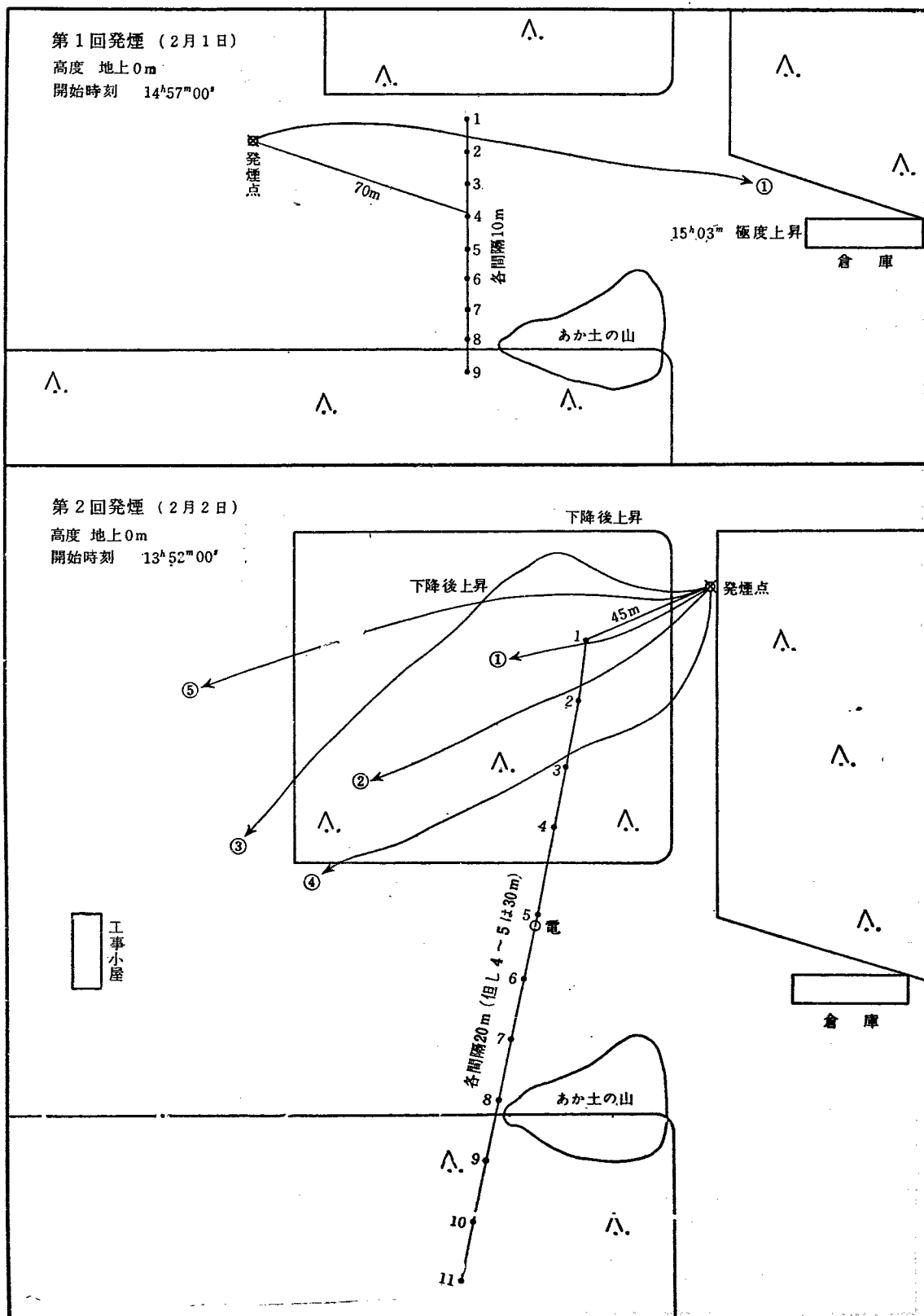


Fig. II-7 ① 測定線、発煙点及び気球航跡

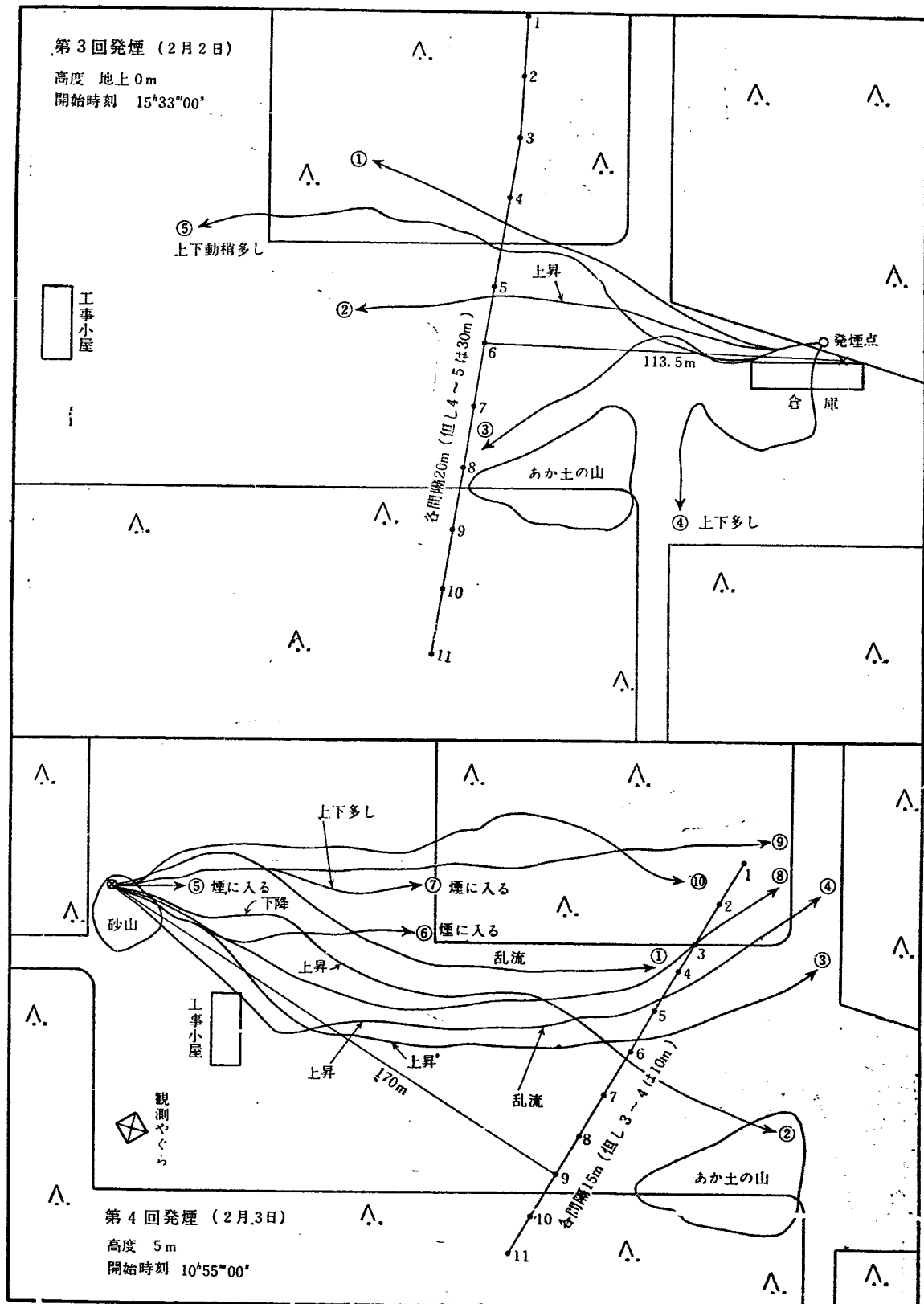


Fig. B-7 ②

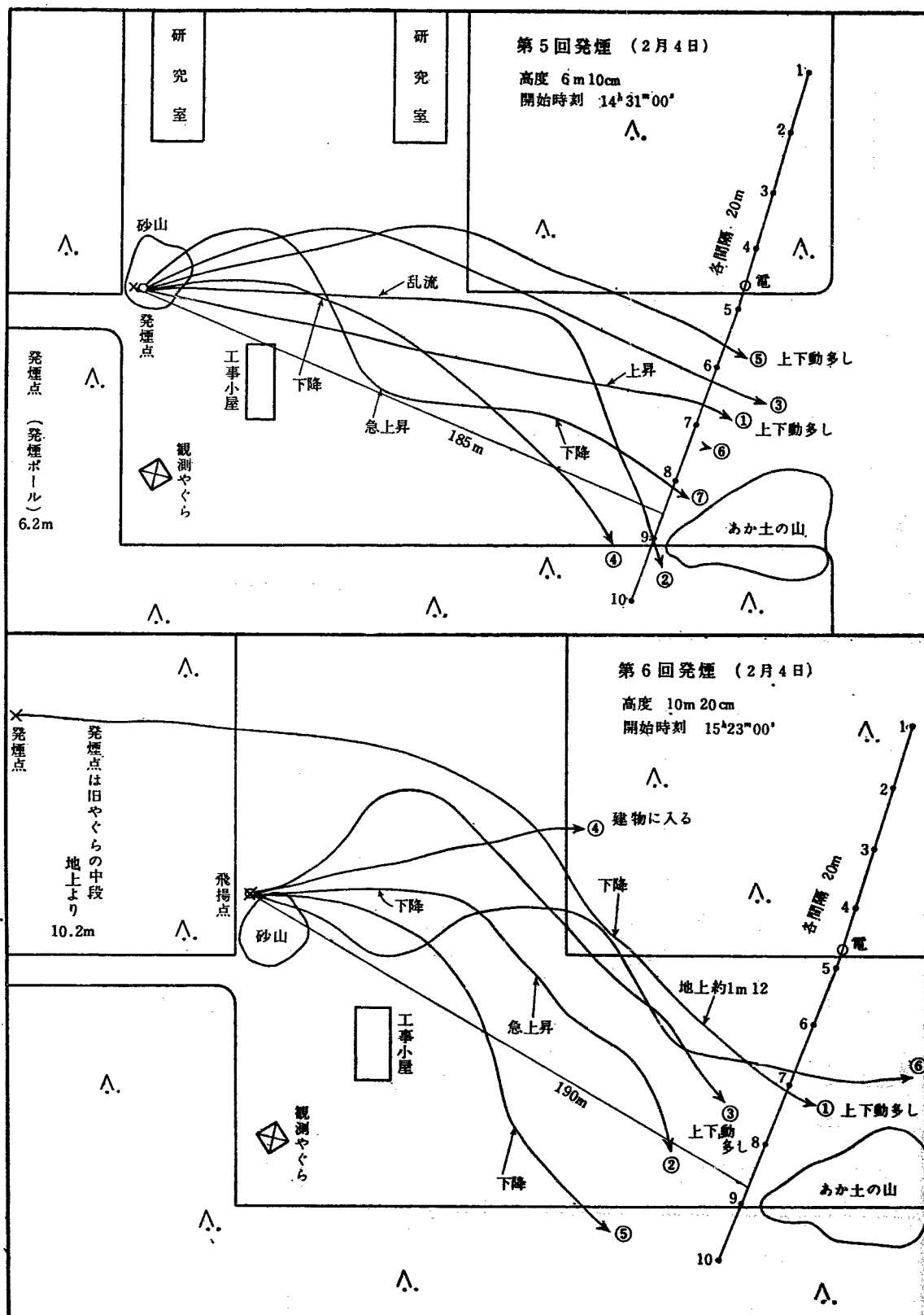


Fig. II-7 ③

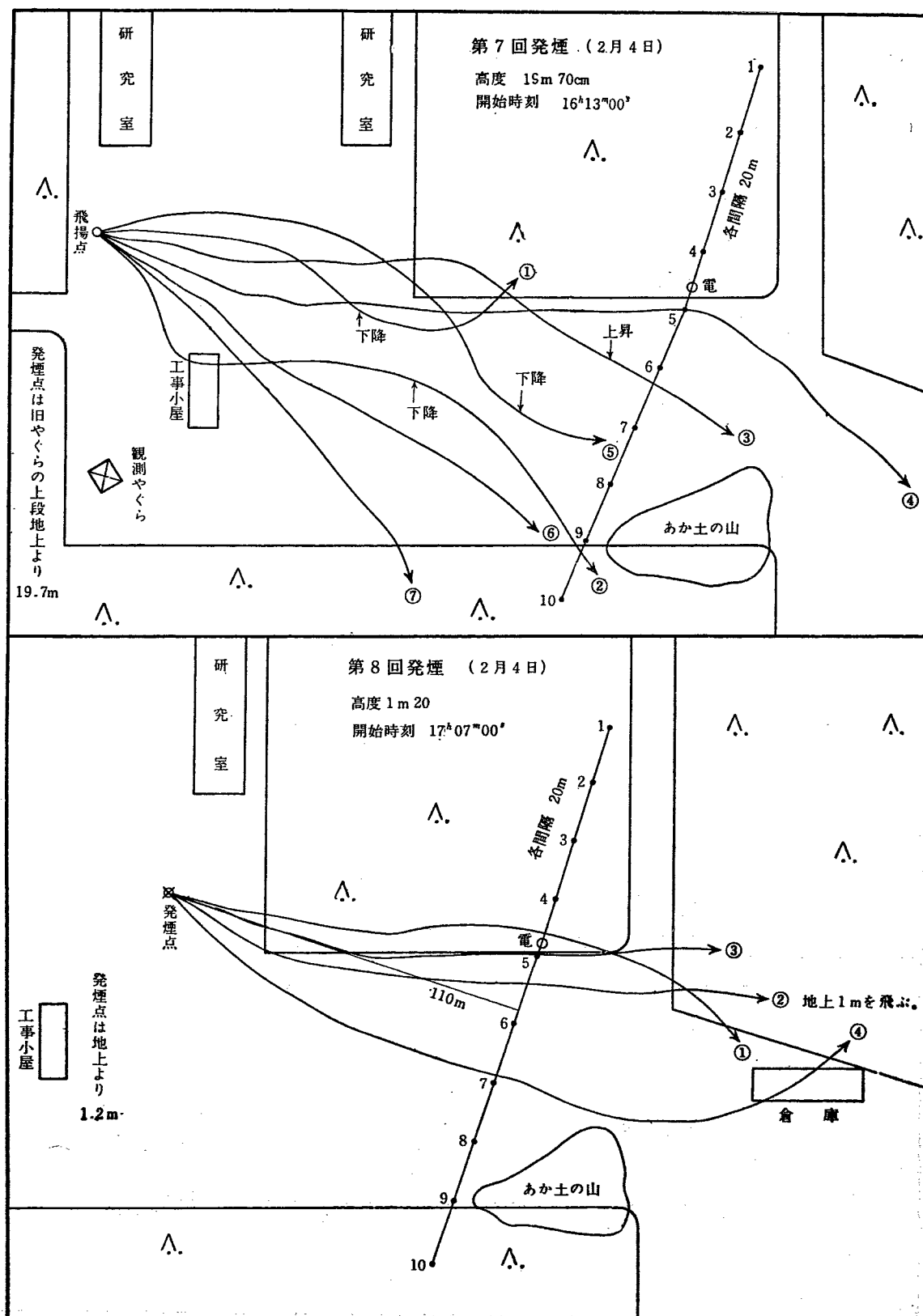


Fig. II-7 ④

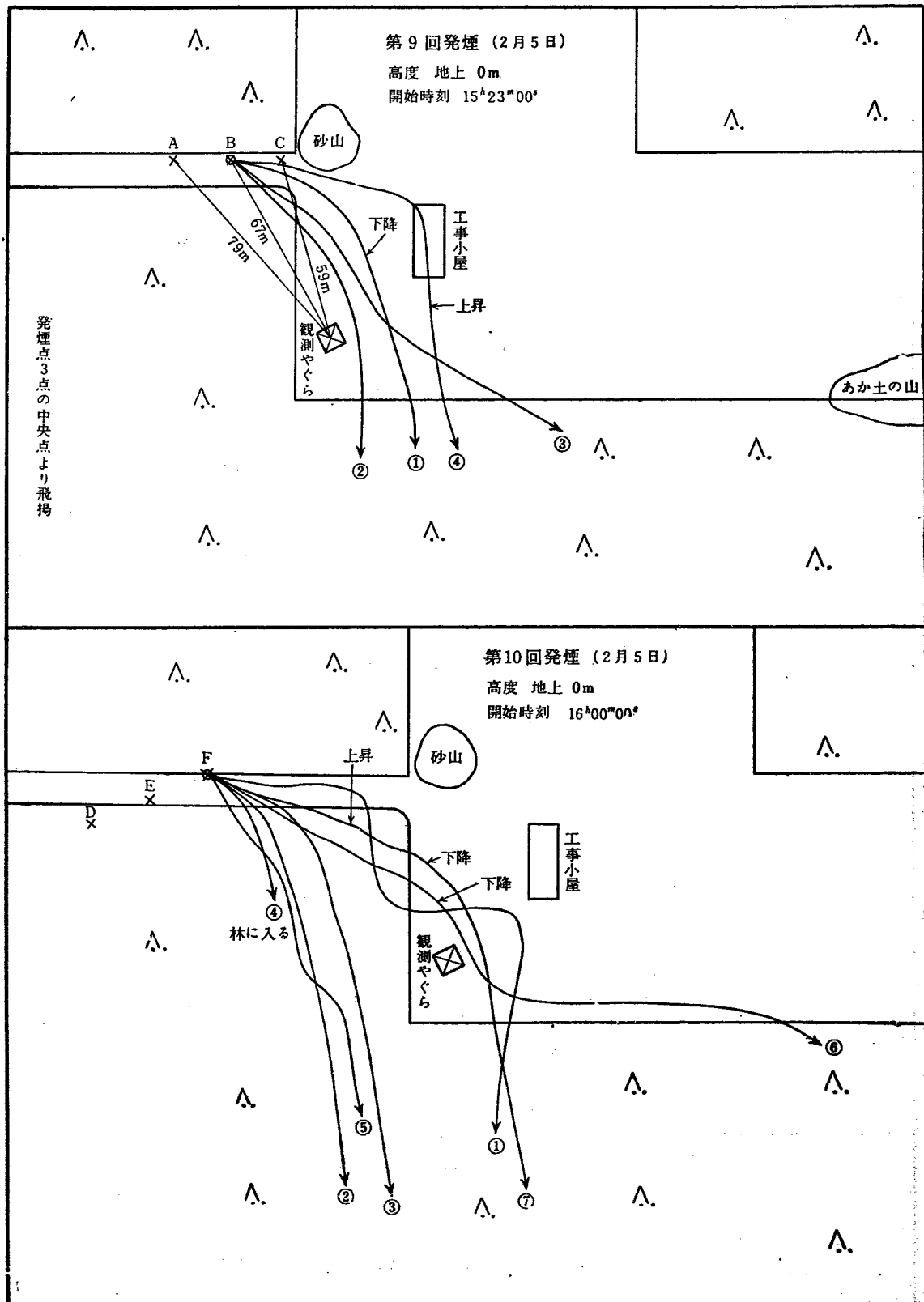


Fig. II-7 ⑥

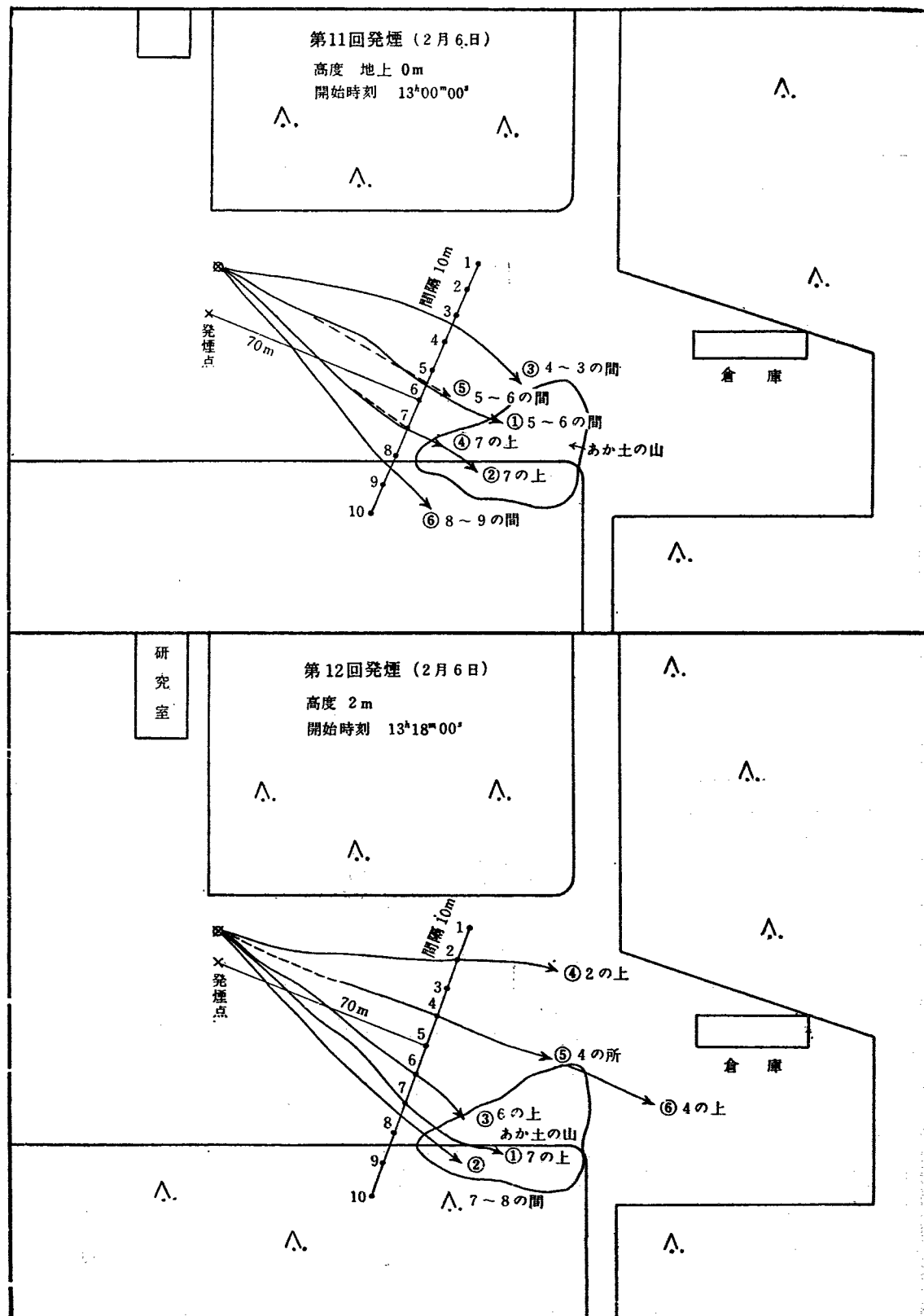


Fig. II-7 ⑥

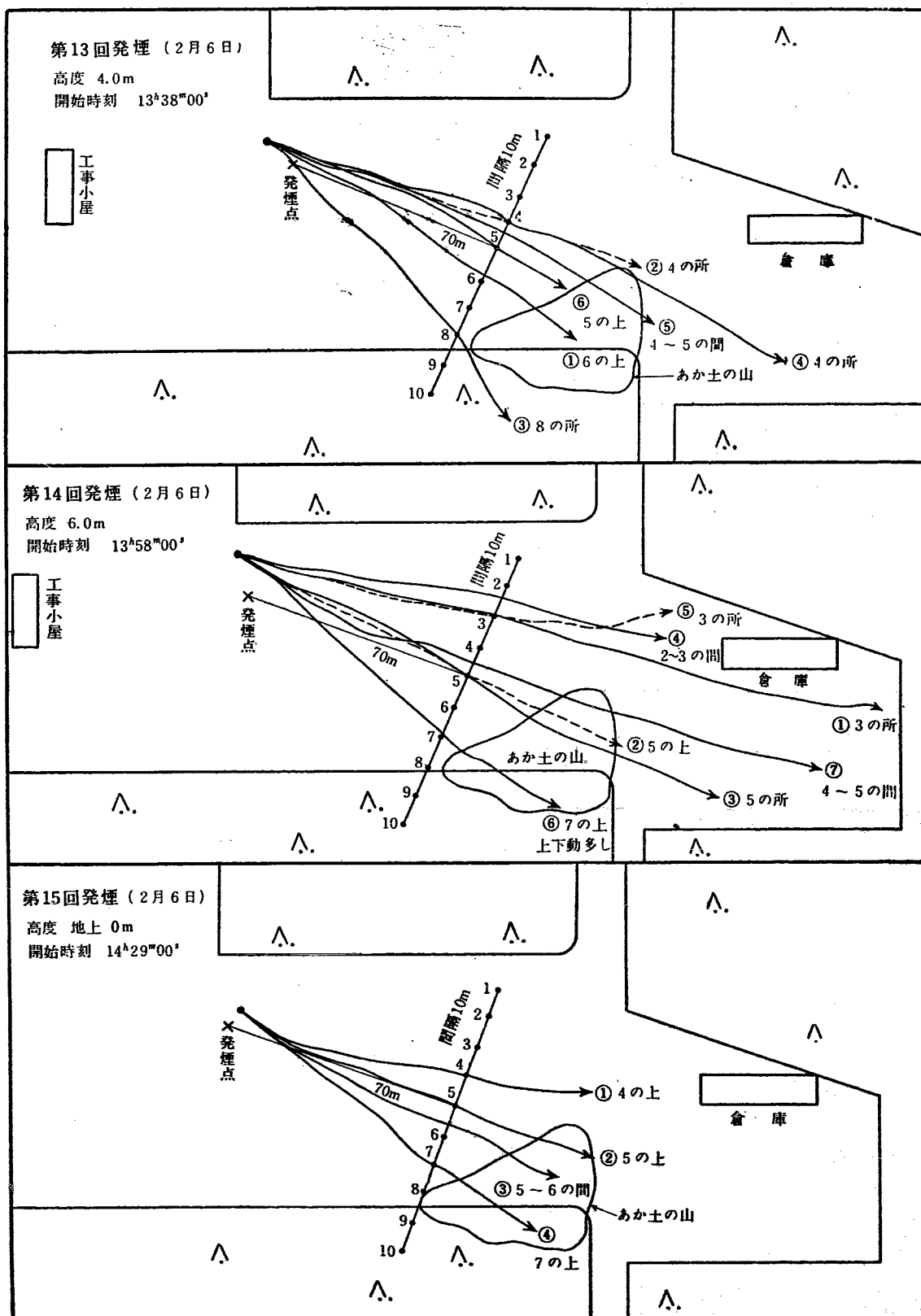


Fig. II-7 ③

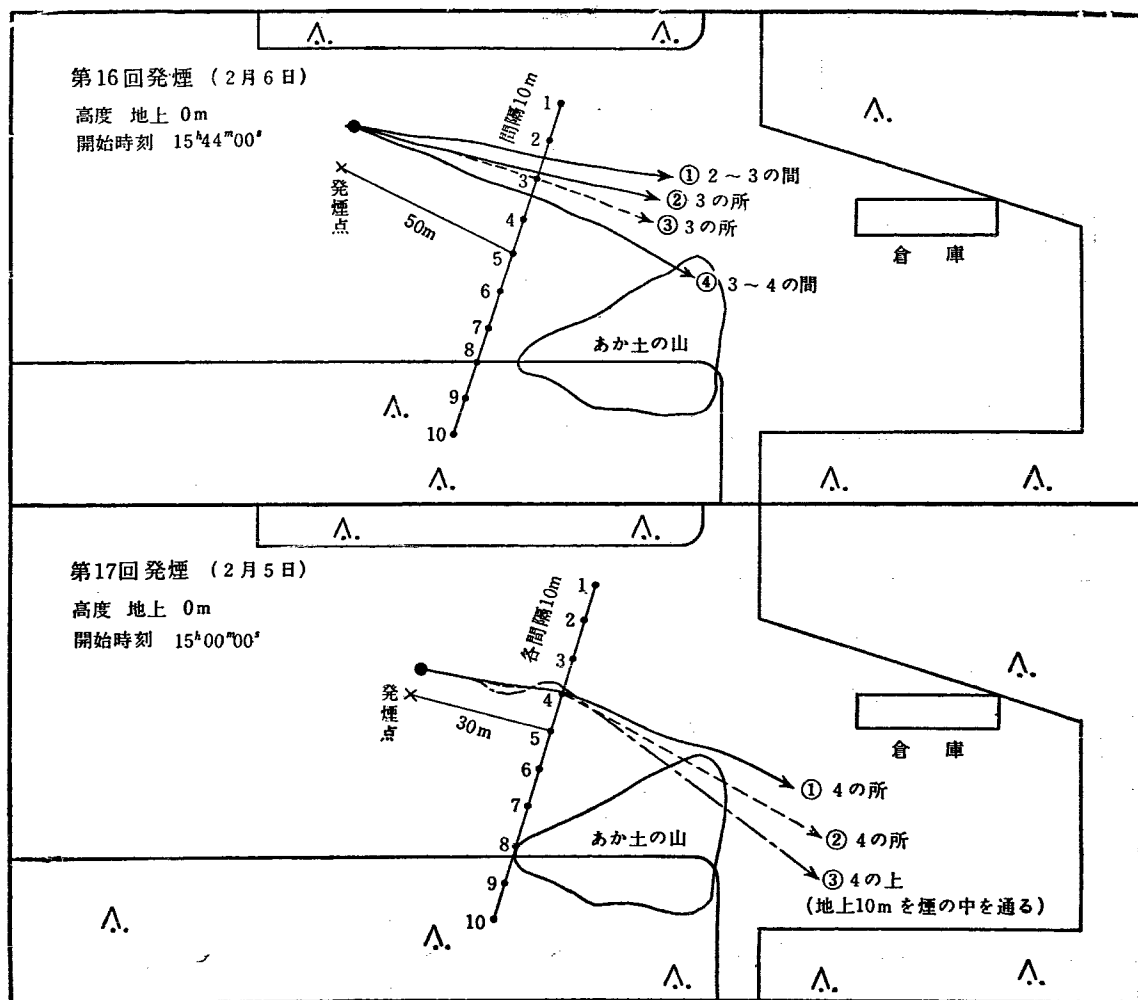


Fig. II-7 ⑥

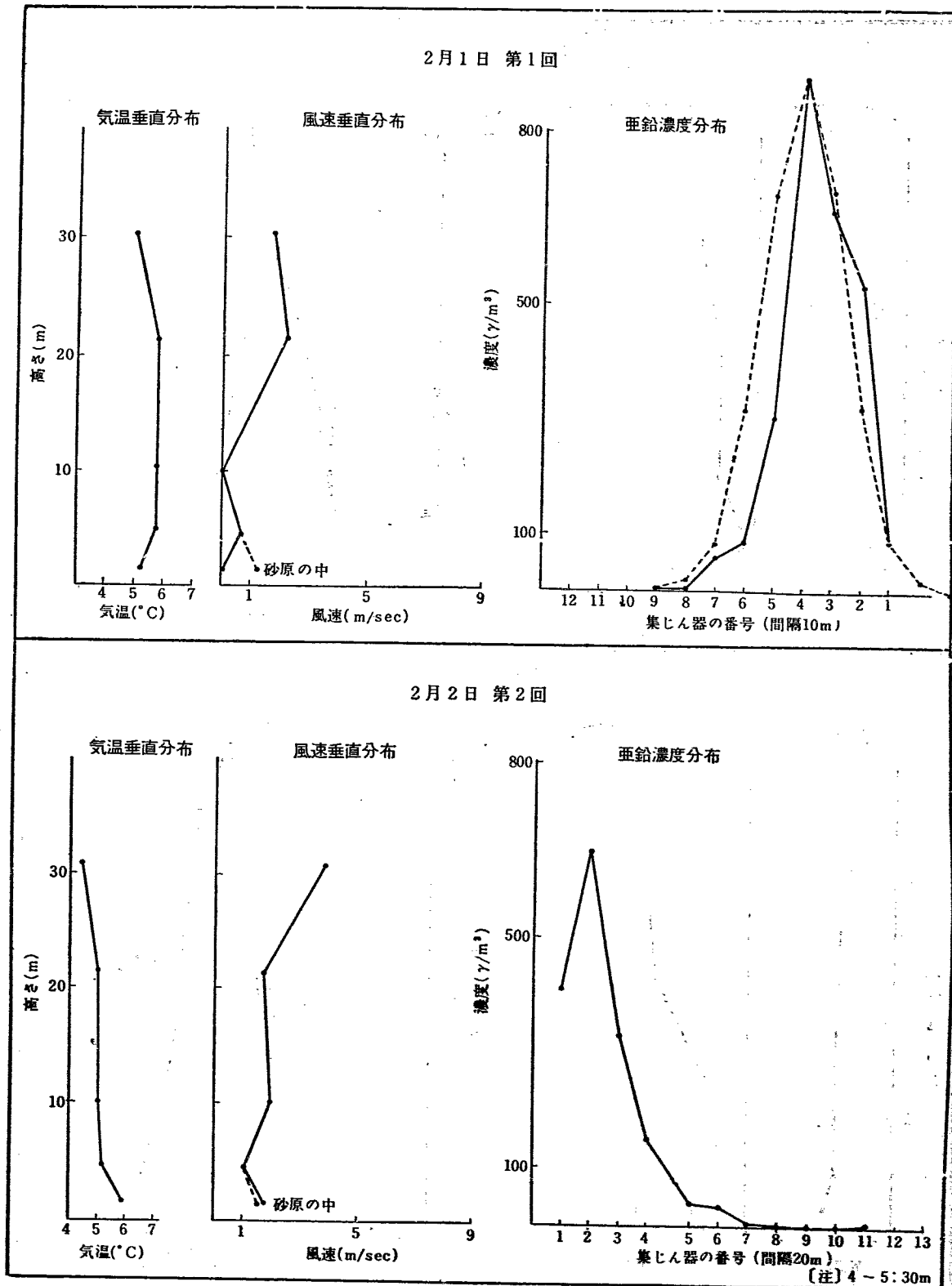


Fig. II-8 ① 亜鉛の濃度分布と気温風速の垂直分布。実線は実測値、点線は O.G. Sutton の式による計算値

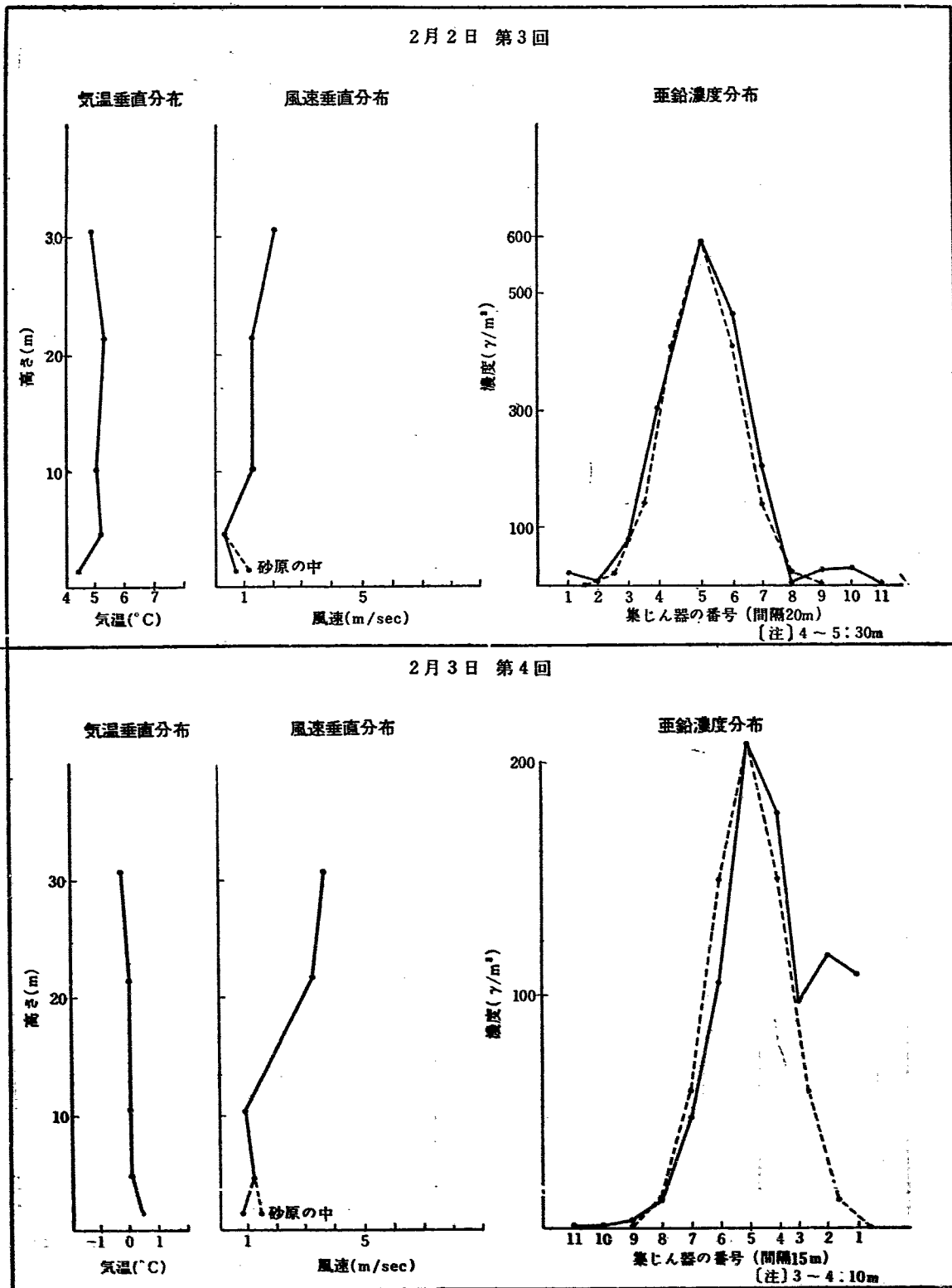


Fig. II-8 ③

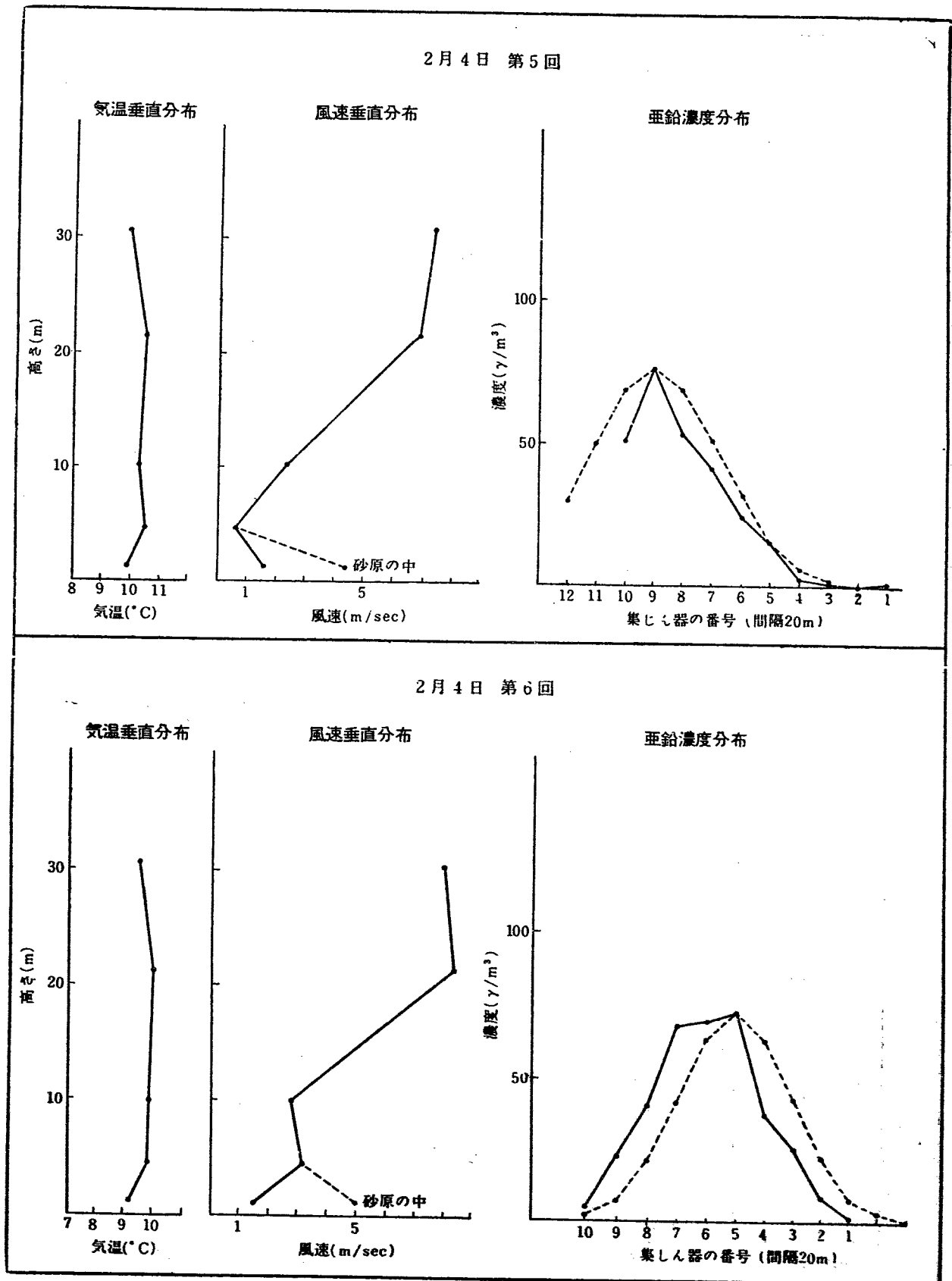


Fig. II-8 ③

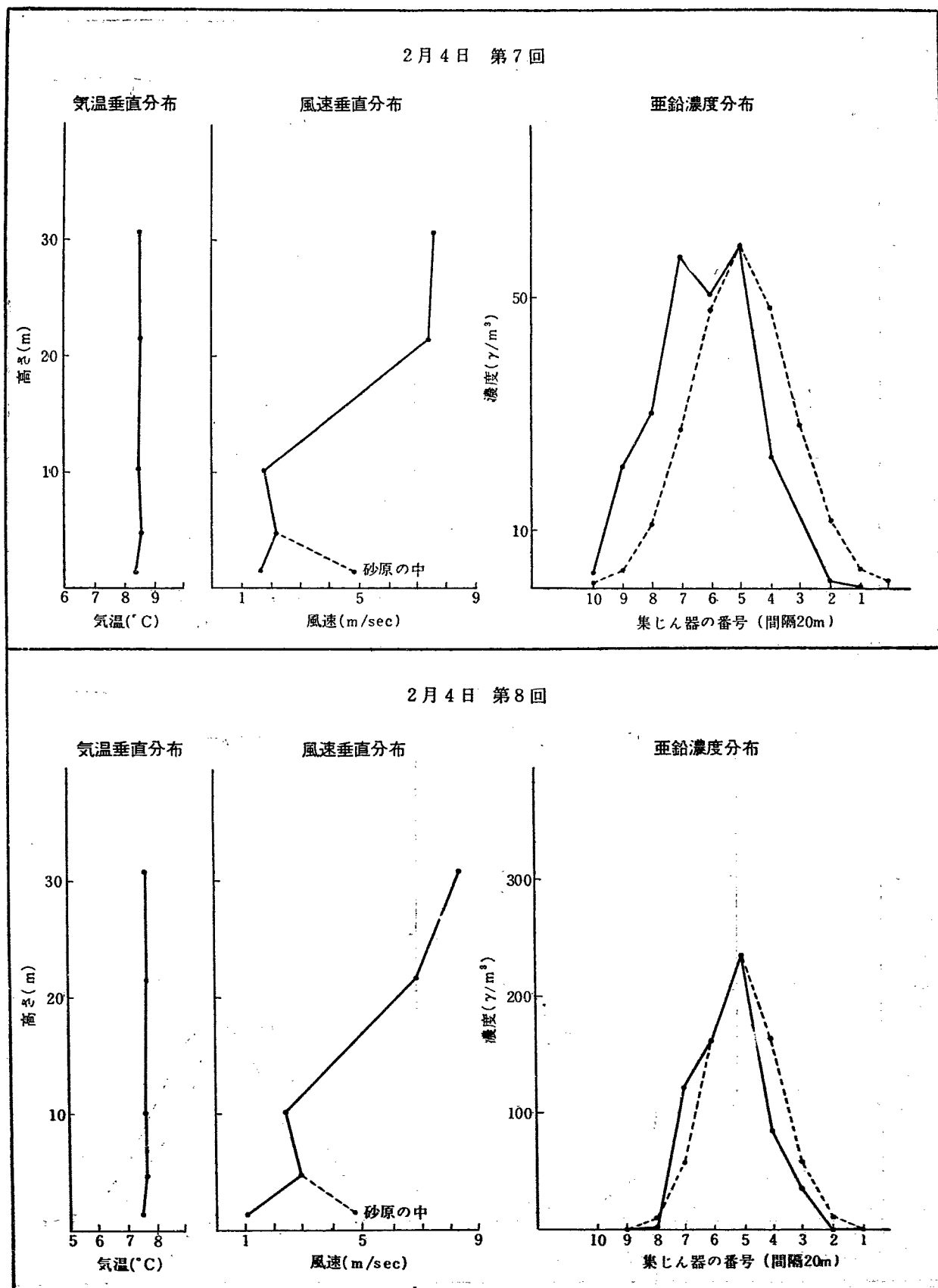


Fig. II-8 ④

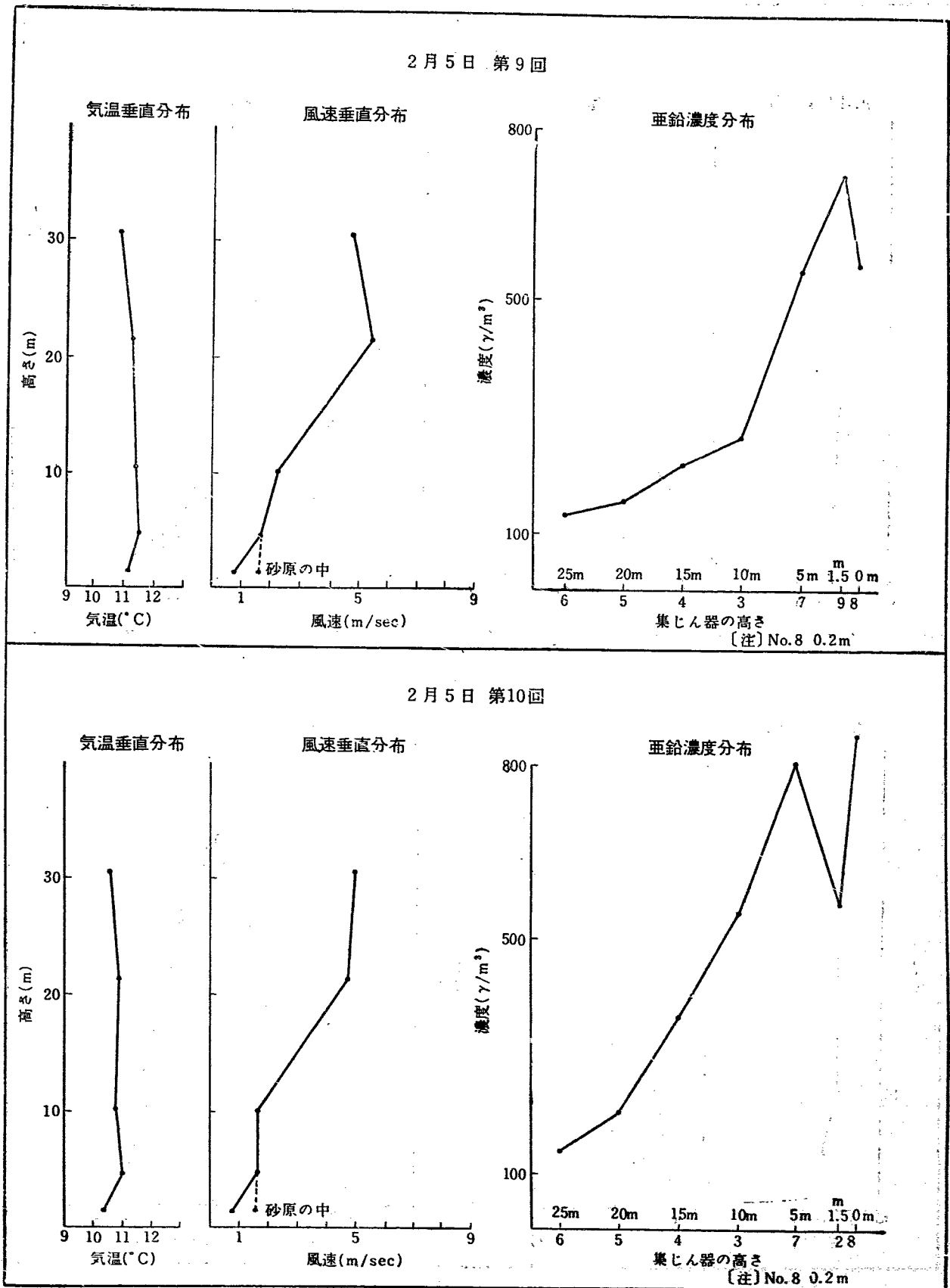
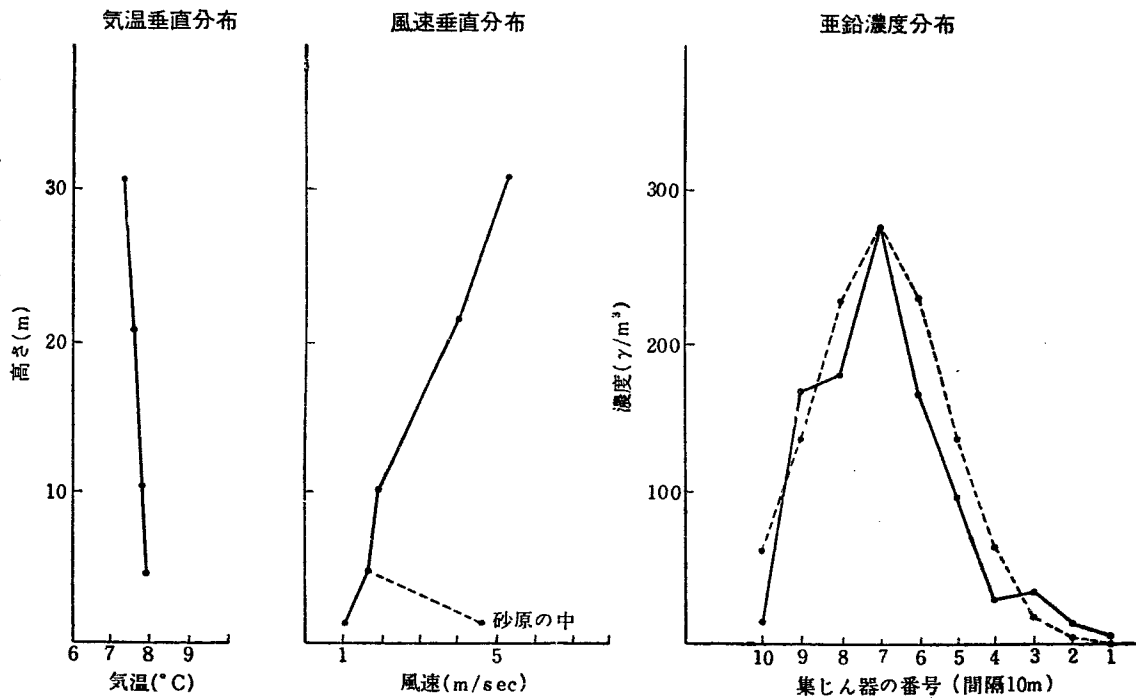


Fig. II-8 ③

2月6日 第11回



2月6日 第12回

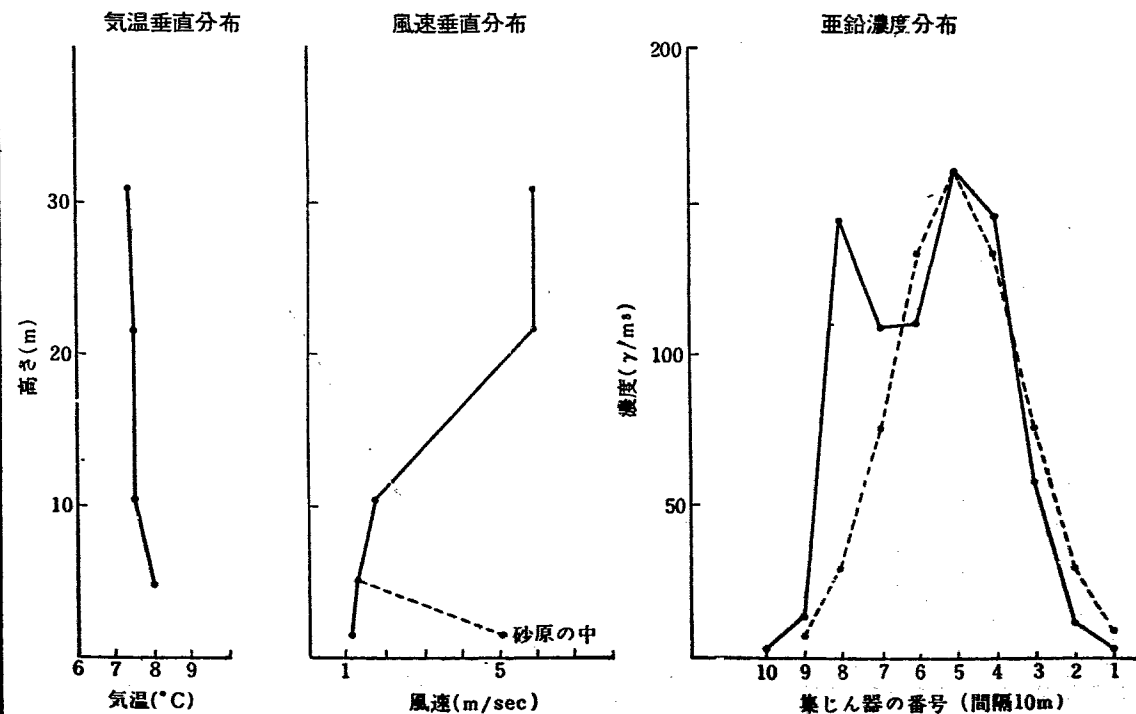


Fig. II-8 ③

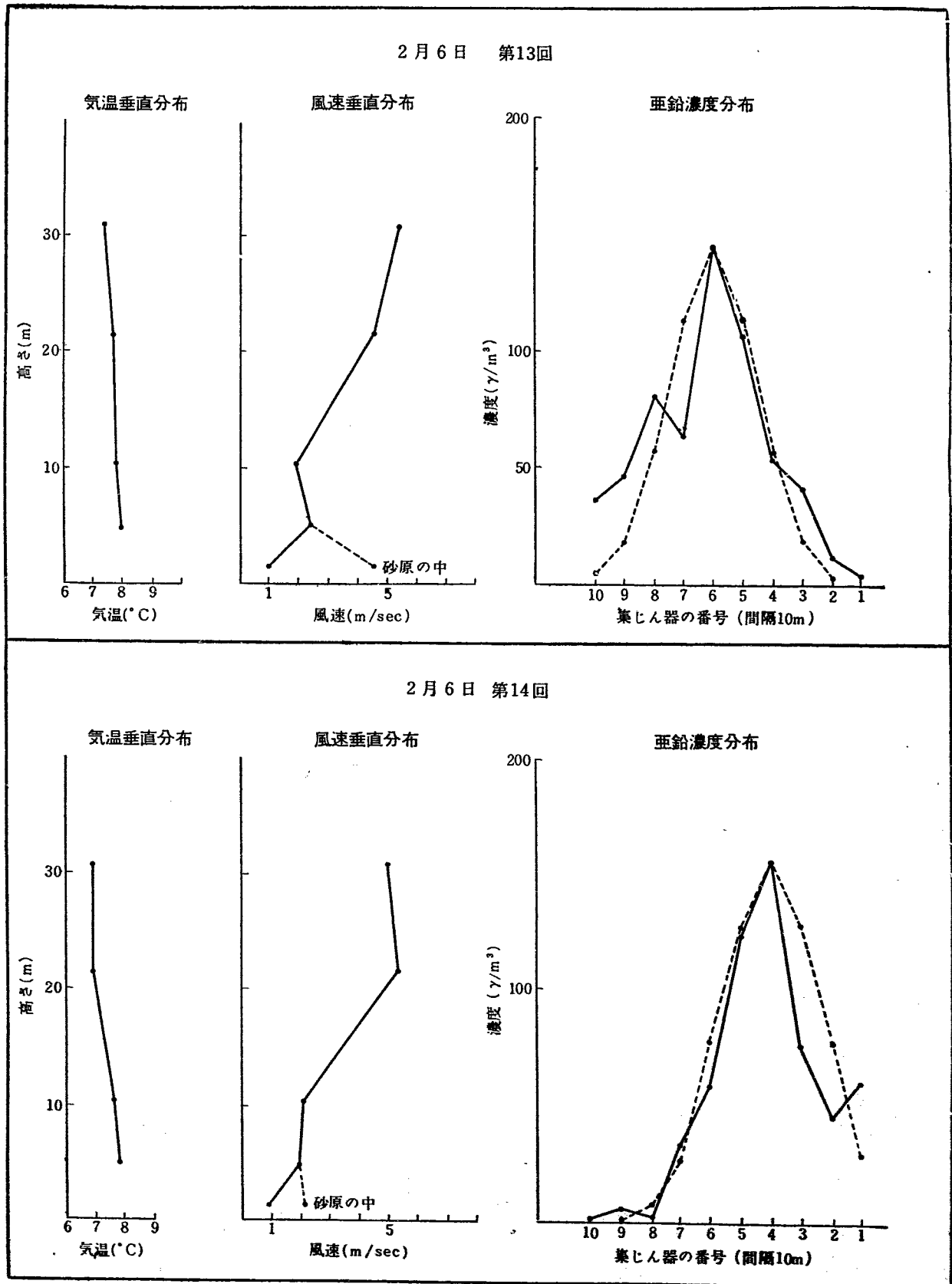
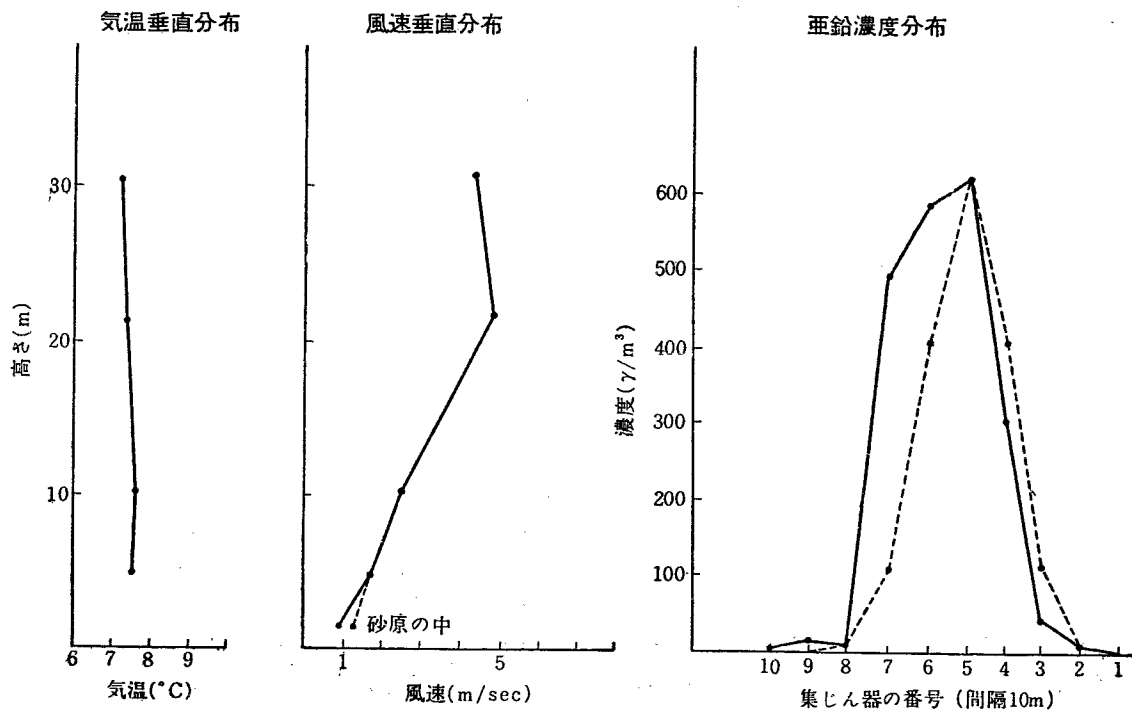


Fig. II-8 ⑦

2月6日 第15回



2月6日 第16回

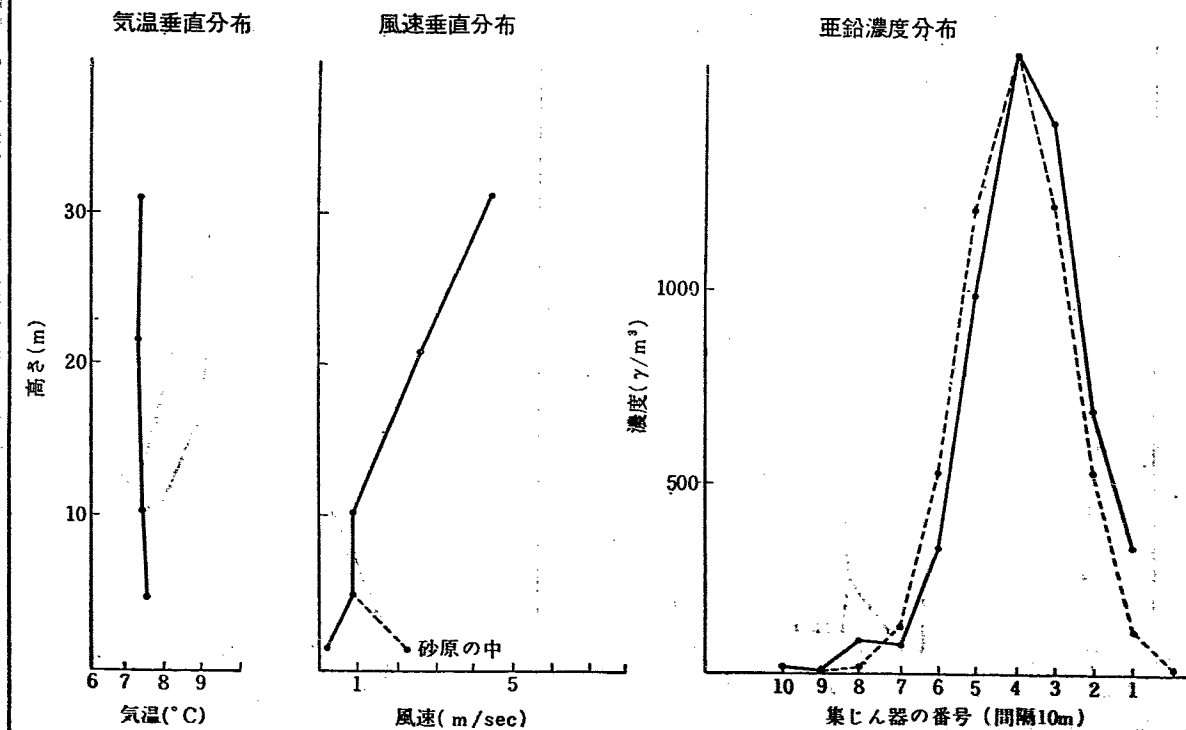


Fig. II-8 ⑥

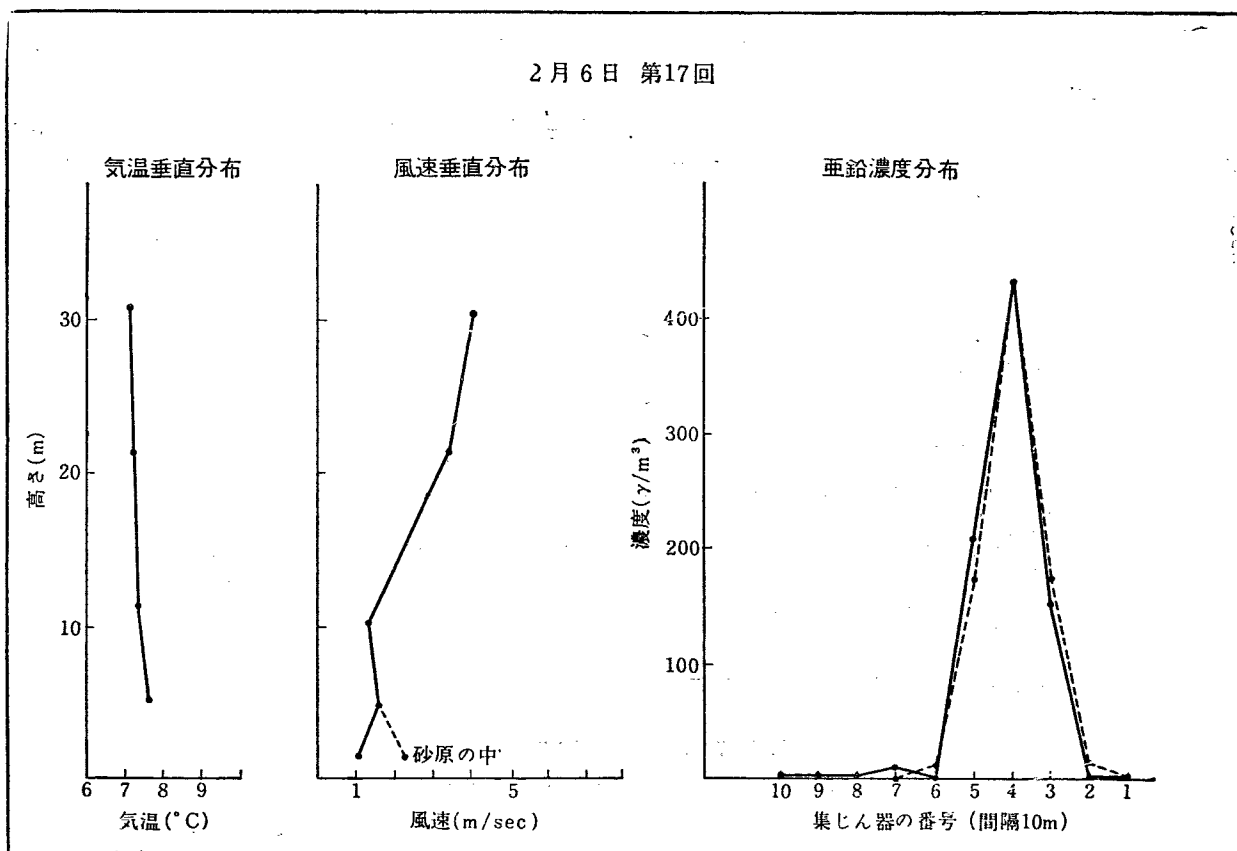


Fig. II-8 ③

地上 1.5 m で 7~8 m/s の日が強かった位である。第 9 回, 10 回を除く各回は煙の濃度の水平分布を測定したが, 9 回, 10 回は煙の垂直分布を測定した。

次に各回の発煙測定について簡単な考察を加えてみる。

第 1 回発煙 測定開始後地上風向が NNW-NW にかわり, 測定線からはずれたので 8 分で中止した。濃度分布はピークが 4 番集じん器に表われ, 3, 2, 1 番にかたよった形になった。風は極端に弱く, 気温は 5 m まで逆転, それより 20 m までは等温層で, 乱れは小さい。

第 2 回発煙 風は SE であるが, 松林とその中の通路のため気流は複雑を極め, 発煙点と測定線の位置を決定することが困難を極めた。結果は Fig. II-7 に示すように風向と測定線は斜に交り, かつ煙は松林の中で測定されているので, 定量的な議論には不向である。

第 3 回発煙 風は SE から S となり, 風向と測定線とは直交するようになった。濃度分布も左右対称となる, ただ 9, 10 番集じん器の濃度が少し大きくなっているのは風向が再び SSE となったためである。風速傾小さく, 等温層をなし乱れは小さい。

第 4 回発煙 気球の航跡から分るとおり, 測定線附近で気流は東西に走る道に沿う気流のため東の松林の方に曲っている。このため濃度は集じん器 1, 2, 3, 4 番の方にかたより, かつ松林内の煙の滞留のため濃度はかなり大きく出ている。風向と測定線とは直交せず多少斜になっている, 天気悪くみぞれ交りの雪で, 気温は弱いてい減を示し風速の垂直傾度は大きくない。

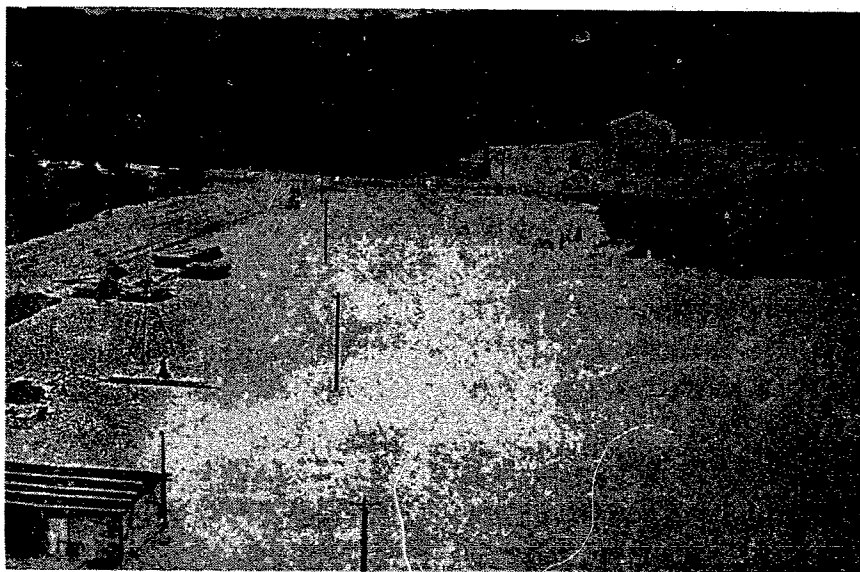
第 5 回発煙 5 回から 8 回 (2 月 4 日実施) までは煙源の高さを変えて, 地上濃度がいかに変化するかみようとした。このためには距離と煙源の強さを各回とも同じくすれば調査に都合がよいのであるが, 地形地物の関係上距離を一定にすることができず, 従って長距離測定の時煙源の強さを大にしたので煙源の強さも不同となった。

この日は日中風向は NNE で変らず, 変化度はかなり大きいけれども相等しい状態を続けた。

5 回は, 従って地上濃度分布の幅が広く, ピークの濃度は小さい。発煙点が林の縁の風下側で吹下しが強く, かつ工事小屋や砂山のため煙が途中で左右に強制的に拡げられた結果であろう。風向と測定線は直交している。気温は地上 5 m まで逆転, 20 m までほぼ等



A. 第7回発煙 2月4日 16h 35m
観測小屋の南 30m の地点より撮影。吹降ろしが顕著



B. 第11回発煙 2月6日 13h 00m
観測やぐらより撮影。遠方が測定線

Fig. II-9 ① 煙 の 運 動 状 況



C. 第12回発煙 2月6日 13h 29m
発煙点後方より撮影



D. 第15回発煙観測 2月6日 14h 34m
地上より撮影, 上下の蛇行運動が顕著

Fig. 11-9 ②

温, 20m以上は強いてい減と複雑であり, 風速の傾度は大きい。

第6回発煙 遠距離発煙(275m)の例で, 測定線も最大の長さとなった。集じん器 1~4 番は松林の中にある。ピークはフラットになっている。松林の中の濃度が特別大きくなった傾向は見えない。これは林外 5 m/s の風で林内も 1 m/s 以上の風がありあまり滞留しなかったためであろう。風向と測定線とはほぼ直交している。気象状況は前回と同じである。

第7回発煙 最大距離(275m)最高発煙点(19.7m)の例である。(Fig. II-9) 風向変動のため濃度のピークが2つ出ている。松林の中の櫓上より発煙しており樹冠上の気流の乱れと, 開地に出た時の吹下ろしのため, 拡散が大きく濃度は小さい。気象状況はほとんど変わらず, 風向と測定線は直交している。

第8回発煙 夕刻となり, 周囲が見えなくなって来たので距離を短くした。風向は後に東に偏ったので濃度分布は集じん器 6, 7 番の方に大きくなった。風向と測定線は直交している。気象状況はほとんど変わらない。

第9回発煙 この日は風向の変化激しく, 14h 30 m 頃 S から E に変った。この時煙の垂直濃度測定を行うには好条件と思ったが, 測定開始の時は煙に NE~NNE となり, あまり条件はよくない様になった。集塵器は発煙櫓の各高さに持上げた。発煙点は3点をおき線源とみなされるようにし, 発煙櫓が煙の幅の中間に来るよに発煙点の位置を加減した。発煙点の附近を南北に通ずる道のため, これに沿って N 風が生じ, 煙は櫓をそれて流れ始めたので, 途中で中止した。気温はかなりのてい減を示し乱れは大きい方である。

第10回発煙 前回に引続き発煙点を更に北に移動して発煙櫓が煙の中にあるようにした。地上 1.5m の濃度が一旦下がっている原因は不明である。

第11回発煙 第11回より第17回までは小距離における煙の拡散観測を行った。(Fig. II-9 B. C. D) そのうち第11回より第14回までは距離を一定にして煙源の高さを変えた場合, 第15回より第17回までは地上発煙で距離を変化させた場合である。距離及び煙源の高さの小さい変化による濃度分布の変化をみるためには気象条件が同じであることが必要であるが, 風向風速の変動とサンプリングタイムの短いことはよい結果をもたらさなかった。

第11回は風向は測定線に対し少し E にかたよったため地上濃度は集じん器 8, 9 番の方に大きくなった。この傾向は11回から13回まで続いている。気温

は乾燥断熱減率に近く風速傾度は小さい。

第12回発煙 濃度ピークが2つ現われ, サンプリングタイム中に主風向が2つに分れたことを示している。気象条況はほとんど変らない。

第13回発煙 濃度ピークが2つ現われているが1つは小さい。やはりこれは風向の偏倚に原因するものであろう。

第14回発煙 風向が前回より少し N に廻り, 今まで地上約 5 m/s 吹いていた風が 2 m/s に減じた。このため地上濃度は集じん器 1 番の方に偏った。

第15回発煙 地上風速は 1.3 m/s にち一寸した風向の偏倚による濃度の偏りが明に現われている。

第16回発煙 気球の航跡図に明かなとおり風向が偏らずに又その変化が小さいので地上濃度分布は美しい対称形をなしている。

第17回発煙 最端距離の発煙観測で, 風向の変動の影響も現れず, ピークを中心とした左右対称の分布をなしている。

§ II-9 煙の濃度分布より渦動拡散係数 K の計算

L. F. Richardson は見掛けの渦動拡散係数と現象のスケールの間にある関係があることを見出した⁹⁾。今回の東海村原研敷地の調査では観測する現象のスケールが, 大体 10^3 cm のオーダーであるから, 渦動拡散係数 K も大体 $10^3 \sim 10^4 \text{ cm}^2/\text{sec}$ のオーダーであることが推定される。今煙の地上濃度分布よりこの K を計算してみて, この推定の正否を確かめてみよう。

O. F. T. Roberts によれば点源の連続発煙の時, 風下における, 風向に直角な測定線の地上 z m における濃度 x は次式で表わされる¹⁰⁾。座標の取方は Fig. II-10 に示すとおりである。

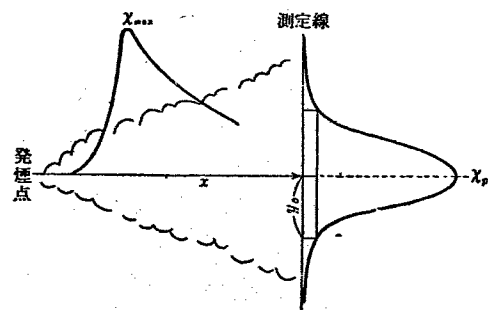


Fig. II-10 拡散式の座標の取方

$$x(x, y, z) = \frac{2Q}{4\pi Kx} \exp \left[-\frac{u(y^2 + z^2)}{4Kx} \right] \quad (\text{II-1})$$

ここに

x : 煙の濃度 (亜鉛量) gr/m^3 Q : 煙源の強さ gr/sec
 x : 煙源と測定線間の距離 (= 煙の中心線の長さ) メートル y : 測定線上における中心

線よりの距離 (cross-wind の方向) メートル

u : 風速 m/sec.

この式においては乱れは等方性で、かつ K も u も高さには無関係という仮定を含んでいる。今回の測定点の高さは、地上約 1.2m で上式では無視しうる大きさであるから、これを省略すると、

$$\chi(x, y, 0) = \frac{Q}{4\pi Kx} \exp\left[-\frac{u y^2}{4Kx}\right] \quad (\text{II-2})$$

今地上濃度分布において、煙の中心線と測定線の交る所の ($y=0$) 濃度は最大を示し (Peak Concentration) これを χ_p で表せば

$$\chi_p = \frac{Q}{4\pi Kx} \quad (\text{II-3})$$

となる。又この χ_p の $1/10$ の濃度を χ' とし、 y を y_0 とおけば

$$\chi' = \frac{Q}{4\pi Kx} \exp\left[-\frac{u y_0^2}{4Kx}\right] \quad (\text{II-4})$$

故に

$$\frac{\chi_p}{\chi'} = 10 = \exp\left[\frac{u y_0^2}{4Kx}\right]$$

$$\frac{1}{M} = \frac{u y_0^2}{4Kx} \quad \therefore K = \frac{M u y_0^2}{4x} \quad (\text{II-5})$$

ただし、 M : 常用対数の Modulus (≈ 0.4343)
式(II-5)を用いて K を計算することは地上濃度分布が式(II-2)で表わされる指数関数をなしていることを前提としている。Fig. II-8 に示すように O. G. Sutton の拡散係数と彼の拡散式を用いて計算した値と実測とはかなりよく合っていることから、Sutton の拡散式と形式を同じくする式(II-2)で計算した濃度分布も実測と合うと考えてよいであろう。

以上の諸条件を満足する例として、地上連続発煙で地上濃度分布が指数関数形をなしている例を選び、第 1, 3, 8, 11, 15, 16, 17回を得た。

y_0 としてはピーク濃度の $1/10$ 濃度の地点をとり、両側の y_0 が異なる時はその平均値を用いた。 u としては測定線を設定した砂原の中に立てたピラム式微風向風速計による地上 1.5m の風速を用い、実際には集塵時間中の平均風速を用いる。従って集塵時間中に u がひどく変化したような場合は不适当であるが、幸いこのような例はなかった。また x としては煙源からピーク濃度地点までの距離を用いたが、厳密には煙の中心線の長さとは一致せず、多少異なる場合があるが(換言すれば煙の中心線は一直線でないこともあるし、又風向と測定線が直角に交っていないためにも起る)計算上は上記のように x をとっても誤差は極めて小さいから差支えない。

計算の結果を TABLE II-6 に示す。これによれば地表附近の K は $10^3 \sim 10^4 \text{ cm}^2/\text{sec}$ のオーダーとなり、石田、小林等¹¹⁾により測定された林の風下における乱流の交換係数 $1.5 \times 10^4 \text{ cm}^2/\text{sec}$ とよく合う。又微気象班が測定した林内林外水平渦動拡散係数(第 III 章参照)ともオーダーがよく合う。

すなわち 2 月 4 日 16h53m から 17h25m にかけて前後して行われた風速の垂直分布測定から計算した水平渦動拡散係数 K_h と煙の濃度分布より計算した K とは、 $K_h = 1.5 \times 10^4$ $K = 2.8 \times 10^4 \text{ cm}^2/\text{sec}$ を示し、オーダーはよく合う、もっとも K_h は林中の測定で風速 0.94m/s、他方 K は林中開地の測定で風速 4.8m/s で、林内の風速は林外のその数分の 1 に減少しているが林内は樹枝、樹幹のため乱れが大きく、風速が小さい割に K_h は大きい。又 2 月 6 日 15h00m より 15h21m にかけて前後して行われた両者の観測からの計算結果は $K_h = 7.1 \times 10^3$, $K = 1.0 \times 10^3 \text{ cm}^2/\text{sec}$ で、松林の風下の縁にあたる発煙槽の所では、風速が林中開地の 2.2m/s に比し 0.84m/s しかないのに係数は 7 倍の大きさを示し、樹冠による乱れが相当生じていることが解る。

以上のことから、林内、林外では渦動拡散係数が異なり、かつ TABLE II-6 をみて推定されるように、風速と係数とが密接な関係がある。今 TABLE II-6 の K 及び K_h と u との関係を図にプロットすると Fig. II-11 のようになる。もっとも K_h のうち 2 月 5 日の林外の測定値は除いてある。この図により K 及び K_h は大体風速と直線的な関係にあるが、林内は風速

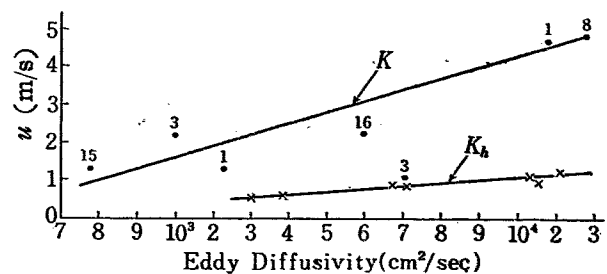


Fig. II-11 風速と渦動拡散係数との関係

の増加に対し K_h の増加は非常に大きく、これに対し林外は小さいことが明に解る。これから林外の風速が数 m/s 以下の時、 K 又は K_h の大きさが大体見当がつけられる。

K は等方性乱流を仮定し、垂直、水平方向の渦動拡散係数を合成したものであるのに反し、 K_h は単なる水平方向の渦動拡散係数であるから、そのまま比較することは多少厳密を欠くが、先の石田、小林等による林の周辺における交換係数の測定結果は、垂直水平

TABLE II-6 K 及び K_h

1. 煙の拡散より求めた K									
発煙 番号	月 日	時 分	z	u	y_0	x	K	温度 垂直 分布	風速 差 $v_{30.7}-v_{1.5}$
1	2・1	14.57~15.06	m 1.2	m/s 1.3	m 30	m 70	2.3×10^3	cm ² /s 地面附近 逆転	m/s 1.7
3	2・2	15.33~15.55	"	1.1	51	110	7.1×10^3	地面附近 逆転 強	1.3
8	2・4	17.07~17.25	"	4.8	51	113	2.8×10^4	下層弱い lapse	7.2
11	2・6	13.00~13.20	"	4.6	37	73	1.8×10^4	強 い lapse	4.4
15	2・6	14.29~14.37	"	1.3	23	71	7.8×10^2	等 温	3.8
16	2・6	14.44~14.51	"	2.2	29	53	6.0×10^3	"	4.1
17	2・6	15.00~15.06	"	2.2	15	34	1.0×10^3	"	3.0
2. 風速の垂直分布より求めた K_h									
	2・2	13.47~13.52	1.7	1.13			1.5×10^4	K_h 林 外	
	"		3.85	3.13			1.5×10^4	"	
	2・3	11.27~11.31	1.7	0.59			3.8×10^3	林 中	
	"	"	3.85	1.10			1.3×10^4	"	
	2・4	16.53~16.58	1.9	0.94			1.5×10^4	林 中	
	"		3.85	1.26			2.1×10^4	"	
	2・5	12.32.30 ~12.37.30	1.9	1.00			8.9×10^3	林 外	
	"		3.85	1.50			1.1×10^4	"	
	2・5	17.04~17.09	1.9	0.60			3.0×10^3	林 中	
	"		3.85	0.99			6.8×10^3	"	
	2・6	15.16~15.21	5.0	0.84			7.1×10^3	林 外	
	"		10.0	1.13			9.3×10^3	"	

方向の交換係数は、樹冠の上では垂直方向の方が水平方向より大きく、風下側の周辺では垂直方向は水平方向の約 $\frac{1}{2}$ になっており、大きな差はなく共に同じオーダーとみてよい。これは、林中開地又は林の周辺で風下側は風の吹下ろしが相当あり、従って垂直方向の渦動拡散係数が大きく、水平方向のそれと同じ程度になるのであろう。(微気象観測班による K_v は K_h に比べ1オーダー位みな小さくなっているが、これは風速の極めて小さい時の林中の K_v か又は2月5日12時頃の測定 of 林外 30 m の高さでも風速約 3 m/s という微風程度の時の K_v で、これをもって測定線を設定

した林中開地の K_v とすることは妥当でなく、普通風のある時は林中開地では K_h と K_v とは同じオーダーとみるのが妥当であろう)。従って K は水平垂直成分は同じオーダーと考えれば、乱れの大きさを比較するのに K と K_h とを直接比較してもまず大体的見当はつくと考えられる。

以上煙の拡散観測から求めた K と、風速の垂直分布から計算した K_h とがオーダーがよく合うことは、煙の拡散観測から渦動拡散を論じ、特に式 (II-1) と型式的に同じな O. G. Sutton の拡散の理論式を用いてもよいということを示している。

§ II-10 煙の濃度分布より Sutton の横拡散係数 C_y 及び垂直拡散係数 C_z の計算

煙の拡散の計算に現在一番よく使用されるのは O. G. Sutton の式である。従ってこの調査においても Sutton の式が実用に供しうるか否かをたしかめ、供し得るとなればこの式によって計算を行い煙突の高さの決定を行えばよいことになる。そのためまず Sutton の拡散係数を求めてみる。今回は煙の濃度分布より Sutton の拡散係数を求め、この拡散係数と Sutton の拡散式を使って計算を行い、計算値と実際の濃度分布との一致性を検討することによって拡散係数及び拡散式の適否を判断することにした。

O. G. Sutton が導出した非等方性乱流による点源連続発煙の濃度分布 χ は次式で表わされる¹²⁾。

$$\chi(x, y, z) = \frac{Q \exp(-y^2/C_y^2 x^{2-n})}{\pi C_y C_z \bar{u} x^{2-n}} \left\{ \exp \left[-\frac{(z-h)^2}{C_z^2 x^{2-n}} \right] + \exp \left[-\frac{(z+h)^2}{C_z^2 x^{2-n}} \right] \right\}$$

地上の濃度は $z=0$ とおいてよいかから

$$\chi(x, y) = \frac{2Q}{\pi C_y C_z \bar{u} x^{2-n}} \exp \left[-\frac{1}{x^{2-n}} \left(\frac{y^2}{C_y^2} + \frac{h^2}{C_z^2} \right) \right] \quad (\text{II-6})$$

ここに C_y : 風向に直角な横の水平拡散係数 (m^2/sec) C_z : 垂直方向の拡散係数 (m^2/sec) h : 煙源の高さ (m) Q : 煙源の強さ (gr/sec) χ : 煙の濃度 (gr/m^3) $\bar{u}$: 平均風速 (m/sec) n : 風速の垂直分布に関するパラメーター

煙の中心線と測定線の交点に濃度のピークが出るから、濃度ピークを x_p とすれば $y=0$ であるから式 (II-6) から

$$x_p = \frac{2Q}{\pi C_y C_z \bar{u} x^{2-n}} \exp \left[-\frac{h^2}{x^{2-n} C_z^2} \right] \quad (\text{II-7})$$

x_p の $1/10$ 濃度の地点の y を y_0 とし、 x を x' とすれば式 (II-6) より

$$x'(x, y_0) = \frac{x_p}{10} = \frac{2Q}{\pi C_y C_z \bar{u} x^{2-n}} \exp \left[-\frac{1}{x^{2-n}} \left(\frac{y_0^2}{C_y^2} + \frac{h^2}{C_z^2} \right) \right] \quad (\text{II-8})$$

$$\therefore \frac{x_p}{x'} = 10 = \exp \left[\frac{1}{x^{2-n}} \left(\frac{y_0^2}{C_y^2} + \frac{h^2}{C_z^2} \right) - \frac{h^2}{x^{2-n} C_z^2} \right]$$

$$= \exp \left[\frac{y_0^2}{C_y^2 x^{2-n}} \right]$$

$$\therefore C_y^2 = \frac{M y_0^2}{x^{2-n}} \quad (\text{II-9})$$

ここに M は常用対数の Modulus で 0.4343 である。

故に、煙の地上濃度分布の x_p と x' とを求めて式 (II-9) より C_y を求めることは、地上濃度分布は式 (II-6) で表わされることを仮定しているようだが、実測値の2つのみを使用して求めた C_y (従って C_z も求められる) であるから、逆にこの C_y, C_z を式 (II-6) に用いて各 y の値について計算した x と実測濃度との一致性を見ることによって、実測濃度分布が Sutton の式及び拡散係数でよく表わされるか否かをたしかめるといふ考えは循環論にならないと考えられる。

また式 (II-6) の平均風速 $\bar{u}$ は場所、時刻によって変らず、煙は浮力によって上昇もしなければ、下降もしないという仮定のもとに成立するのであるが、第1の条件は気象状況の安定した時で短時間 (約 30 分以内) の集じんならばほぼ満たされるであろうし、第2の条件は予備観測の結果から明かなように¹³⁾、発煙筒から 10 m 位離れれば周囲の気温とほとんど等しくなり、煙の温度が高いため浮力により上昇することはない。又第3の条件はすでに示したように極めて小さい落下速度であるから無視してよい。

以上のことにより、まず各発煙毎に濃度分布より式 (II-9) を用いて C_y を計算してみる。このためには n を計算する必要がある。 n は次式により風速の垂直分布から求める。

$$\bar{u}(z) = \bar{u}_1 \left(\frac{z}{z_1} \right)^{n/2-n} \quad (\text{II-10})$$

$\bar{u}_1$ 及び $\bar{u}$ はそれぞれ z_1 及び z における風速である。もともと式 (II-6) 以下の諸式は、 $\bar{u}$ は高度と共に変らないことを仮定しているにもかかわらず、風速が高度と共に変ることを意味するこの式を用いることは矛盾するが、 n を拡散の統計理論より計算することは实际的でないし、又この式を使っても誤差は小さいという理由¹⁴⁾からこの式を用いて n を計算する。発煙やぐらに設置した風速計はあまり林の縁に近く、樹冠の影響で風速分布が、煙の拡散する砂原の上の風速分布とかなり異ると考えられるので、実際には各回発煙の測定時間中の平均風速として樹冠による影響が比較的少ないと思われる発煙櫓の最上端のエーロペン (30.7 m) と砂原のはほぼ真中に設けたピラム式微風計 (1.5 m) より求め、式 (II-10) で n を計算した。又 x は正しくは Fig. II-10 に示す x をとるべきであるが、風向と測定線が直交せず、かつ測定時間中に少し風向が変化することもあるので、ここではピーク濃度地点と発煙点との間の距離をとった。また y_0 はピーク濃度地点からの横への距離をとった。 x 及び y_0 をこのようにとっても実際は誤差は小さいから差支えないであろう。

TABLE II-7 C_y, C_z の計算表

発煙回数	Q	γ_p	γ_{max}	x	y_0	$\bar{u}$	h	n	x^{2-n}	C_y	C_z	C_y^2	C_z^2	$C_y \times C_z$
	(gr/sec)	(γ)	(γ)	(m)	(m)	(m/sec)	(m)		(m)	(m) ^{n/2}	(m) ^{n/2}	(m) ⁿ	(m) ⁿ	
1	2.3	891	∞	70	30	1.3	0	0.17	2,380	0.41	1.31	0.16	1.72	0.537
2	2.4	652	∞	63	31	1.7	0	0.42	757	(0.74)	(2.45)	(0.55)	(6.00)	(1.813)
3	2.4	597	∞	110	51	1.1	0	0.35	2,335	0.69	1.44	0.48	2.07	0.994
4	2.4	207	7,172	178	40	2.1	5.0	0.45	8,674	0.28	1.44	0.08	2.07	0.403
5	2.3	78	928	181	95	5.6	6.1	0.29	7,228	(0.74)	(0.61)	(0.54)	(0.37)	(0.451)
6	4.8	73	662	275	84	6.8	10.2	0.26	17,604	0.41	0.84	0.17	0.71	0.344
7	4.0	59	248	275	72	7.0	19.7	0.25	18,620	0.34	0.99	0.12	0.98	0.337
8	2.0	230	21,558	113	51	4.8	1.5	0.31	2,940	0.62	0.63	0.39	0.40	0.391
9					27			0.74			1.21		1.47	
10					31			0.76			1.00		1.01	
11	0.9	275	∞	73	37	4.6	0	0.11	3,281	0.42	0.33	0.18	0.11	0.139
12	0.9	161	14,272	71	35	5.2	2.0	0.10	3,291	0.40	0.52	0.16	0.27	0.208
13	0.9	147	6,142	73	31	4.7	4.0	0.15	2,764	0.39	0.77	0.15	0.59	0.300
14	0.8	156	4,100	72	25	3.1	6.0	0.45	749	0.84	1.64	0.71	2.69	1.378
15	2.0	621	$\sim$	71	23	1.3	0	0.60	391	(0.77)	(5.26)	(0.59)	(27.67)	(4.050)
16	2.1	1,613	∞	53	29	2.2	0	0.40	565	0.79	0.84	0.63	0.71	0.664
17	2.4	4,324	∞	34	15	2.2	0	0.34	349	0.54	0.86	0.29	0.74	0.464

$Q = 1 \text{ gr/sec}$ の時に換算した値、() は信頼度の小さいもの

このようにして式 (II-9) より C_y を求めれば、次にこれを式 (II-7) に代入して C_z を求めることができる。この時 $\bar{u}$ をいかにとるかが問題である。前述の如く $\bar{u}$ は高さに関係なく一定とする仮定があるので、煙の拡散に一番効くのは発煙点の高さの風速であろうという考え方から、 $\bar{u}$ として各回の発煙点の高さの $\bar{u}$ を式 (II-10) により n を既知として求めた。ただし地上煙の時は砂原の真中 1.5 m の $\bar{u}$ をそのまま用いた。

このようにして各発煙毎に C_y, C_z を求めた。その結果及び使用した各要素の値を TABLE II-7 に示す。同表のうち第 5 回発煙では煙は途中の工事小屋のため強制的に左右に分けられ横にひろがったため C_y が過大に出ており、第 2 回発煙では風向と測定線が甚だしく斜交して濃度分布が解析に不適であり、第 15 回発煙は $\bar{u}$ の測定値に疑問があり、 C_z が過大に計算されたと思われる。

測定を行った原研敷地は、林中開地ともいふべき地形であるから、樹冠による乱れが大きく、かつ開地への吹下ろしが相当はげしい (Fig. II-9 A)。従って C_y も Sutton, Holland が得た広い平らな地点のそれより 1, 2 桁位大きく、 C_z の方は C_y と同等か又はこれよりかなり大きくなっている。

ここに求めた C_y 及び C_z は沓紙式集塵器による測

定で、ある一定時間内の濃度の総和を基にしているから、当然風速と吸引時間の積で表わされる距離 ($\bar{u} \times T$) に含まれるすべての大小の乱れの平均的拡散係数を表すものと考えられる。しかし、この林中開地のような所では樹冠により生ずる乱れが圧倒的に多く、これは風向と風速によりその大きさが大体定ってくるであろうから、平均値といっても樹冠により生ずる乱れの大きさによる拡散係数と考えてよいであろう。従って、乱れの大きさは $10^2 \sim 10^3 \text{ cm}$ オーダーであり、その拡散係数であろうと考えられる。又 C_z が大きいのは林中開地に向って吹下ろす風が強いこととに基因するものと考えられる。

§ II-11 風向風速の垂直分布より求めた C 及び C_z と、煙の濃度分布より求めた C_y, C_z との比較

微気象班では熱線風速計及び電磁オシログラフを用いて、林内及び林外の地表面近くの風向風速を測定した (第 III 章参照)。今この風速の垂直分布のデータを用いると Sutton の拡散係数が計算され、煙の濃度分布より求めた拡散係数と比較することができる。

今、 x, y 方向を区別しない水平方向の Sutton の拡散係数を C とすれば、

$$C^2 = \frac{4 N^n}{(1-n)(2-n)\bar{u}^n} \left[\frac{(u')^2}{\bar{u}^2} \right]^{1-n}$$

TABLE II-8 林内林外の C^2 の値

月日	時 分	z	$\bar{n}$	$ \Delta u $	n	z_0	u_*	N	C^2	場所	C_y^2	月日	時 分
2・3	11.27~11.31	1.7 3.85	0.59 1.10	0.12 0.22	0.86	0.65	0.25	0.16	5.08 2.96	林中	0.08	2・3	10.55~11.25
2・4	16.53~16.58	1.9 3.85	0.94 1.26	0.41 0.49	0.58	0.23	0.18	0.04	0.54 0.64	林中	0.39	2・4	17.07~17.25
2・5	12.32.30~ 12.37.30	1.9 3.85	1.00 1.50	0.23 0.28	0.72	0.45	0.28	0.13	1.11 0.74	林外			
2・5	17.05~17.09	1.9 3.85	0.60 0.99	0.14 0.16	0.83	0.63	0.22	0.14	3.49 1.26	林中			
2・6	15.16~15.21	5.0 10.0	0.84 1.13	0.22 0.29	0.60	0.67	0.17	0.11	0.73 0.60	林外	0.29	2・6	15.00~15.06

* 単位はすべて m 及び sec, C^2 のジメジョンは (m)²

で表わされる。今微気象班の観測資料 (TABLE III-2) を用いて各測定毎に、風速の垂直分布より式 (II-10) から n を求め、又 N (Macro viscosity) を次式から求めれば、 $\bar{u}$ 及び u'^2 (TABLE III-2 の $|\Delta u|$ は $|\bar{u}'|$ に等しい故に $\overline{u'^2} = |\Delta u|^2$ とおいて大差ない) も資料にあるので上式の計算ができる。計算は地上 2 点の高さについて計算した。それより上は樹冠の影響を受けて風速分布が異常になり計算ができない。

さて $N = u_* z_0$ であるから u_* (まさつ速度) 及び z_0 (粗度パラメーター) を求めればよい。 u_* と z_0 との間には次の関係がある。

$$\frac{\bar{u}_1}{u_*} = \frac{1}{k} \log \frac{z_1}{z_0} \quad (\text{II-12})$$

ここに k はカルマン常数で地面附近の運動では 0.4 としてよい。地上 2 点の高さの $\bar{u}$ と z を上式に入れ、連立方程式として u_* 及び z_0 を求めることができる。

以上の予備計算から C^2 を求めたものをその他の要素と共に TABLE II-8 に示す。この表によれば林内では風速の垂直傾度が大きく従って n が大きい。 u_* はそう大きな値でないけれど、 z_0 は極めて大きくなっている。

微気象班の観測は測定時間が 5 分間で短かく、かつ x, y 方向を区別しない水平方向の拡散係数 C^2 を計算したので、煙の濃度分布より計算した y 方向の拡散係数 C_y^2 との比較は厳密にはできないが、 C_y にくらべ C_x が 2~3 倍位大きいことを考えれば、 C^2 と C_y^2 とを比較するとき、 C_y の約 2~3 倍のものを C^2 と比較するとよいことになる。このように考えると 2 月 3 日の値を除いては、両者の拡散係数はほとんど等しくなり、風のあまり強くない時は林内林外での拡散には差がないということになる。

さきに、 K について風速の垂直分布と煙の濃度分布から求めた値を比較してオーダーが一致することを示したが、今また、Sutton の拡散係数を風速の垂直分布

より求め、煙の濃度分布より求めた係数と比較して、オーダーが一致し風が弱い時、林中林外共にほぼ等しい値と考えてよいことが解った。このことから煙の濃度分布より求めた C_y の値は大体妥当なものと考えてよいであろう。

§ II-12 O. G. Sutton の拡散式による地上濃度の積分値と実測濃度との比較

測定線上における煙の濃度分布は、測定時間中における風向の偏倚や、測定時間の長短や、煙源との距離や、途中の地形地物によって必ずしも煙の中心線から左右対称にひろがる誤差函数曲線の型にはならず、変形することがある。従って測定線上の一点一点についての濃度は必ずしも O. G. Sutton の拡散式による計算値と一致しないかも知れないが、全体の地上濃度について比較して差があまりなければ Sutton の拡散式は実用に供しうると考えてよいであろう。これは排気煙突から出た汚染空気の放射能の強さが地上においてある距離では全体でどの位かということを見積ることが必要になるであろうと考えるからである。

以上のことから積分値について一つの例をとって比較してみよう。

高さ h なる煙源から連続発煙した場合の地上濃度 x は

$$x(x, y) = \frac{2Q}{\pi C_y C_z \bar{u} x^{2-n}} \exp \left[-\frac{1}{x^{2-n}} \left(\frac{y^2}{C_y^2} + \frac{h^2}{C_z^2} \right) \right]$$

上式を y について $+\infty$ から $-\infty$ まで積分すると

$$\begin{aligned} \int_{-\infty}^{\infty} x dy &= \frac{2Q \exp \left(-\frac{h^2}{C_z^2 x^{2-n}} \right)}{\pi C_y C_z \bar{u} x^{2-n}} \int_{-\infty}^{\infty} \exp \left(-\frac{y^2}{C_y^2 x^{2-n}} \right) dy \\ &= \frac{2Q}{\sqrt{\pi} C_z \bar{u} \sqrt{x^{2-n}}} \exp \left(-\frac{h^2}{C_z^2 x^{2-n}} \right) \quad (\text{II-13}) \end{aligned}$$

地上発煙の時は $h=0$ において

$$= \frac{2Q}{\sqrt{\pi} C_z \bar{u} \sqrt{x^{2-n}}} \quad (\text{II-14})$$

となる。 y 方向の積分値であるから h も C_y には無

関係となり、 C_z にのみ関係することになる。

式(II-13) 又は式(II-14) を用いて計算し実測濃度の総和と比較するためには、これらの式に用いる C_z を比較しようとする濃度分布より求めたものを用いてはいけない。丁度 2 月 6 日微気象班が発煙槽の所で風速の垂直分布の測定を行い、その結果よりわれわれは 15m の高さで $C_z^2=0.85(m)^n$ という値を得た。これと前後して第 17 回の地上発煙が行われているので、この C_z^2 の値を用いて計算を行い、第 17 回の実測の濃度分布の総和と比較してみる。地上発煙であるから C_z^2 の値はもっと低い所の値を用いるべきで、恐らく 0.85 より更に小さい (後にのべるように C_z は敷地内では樹冠の高さ位までは高度と共に大きくなると考えられる) であろうが減少率が明かでないでこのまま用いる。

第 17 回地上発煙について式(II-14)を用いて計算すると ($Q=2.4 \text{ gr/sec}$, $\bar{u}=2.2 \text{ m/sec}$, $x^2-n=349 \text{ m}$)

$$\int_{-\infty}^{\infty} x \, dy = 0.0724 \text{ gr}$$

一方測定線上の集じん器 No.1 より No.10 までの濃度の総和は

$$\sum_{n=1}^9 \frac{1}{2} (x_n + x_{n+1}) \delta y = 0.071 \text{ gr}$$

となり極めてよく一致する。

これは実は当然なことなので、Fig. II-8 にみるように、第 17 回発煙の濃度分布は誤差函数的分布をなしていることと、この分布より計算した C_z は $C_z^2=0.74 (1.5 \text{ m})$ で、風速の垂直分布より計算した値 0.85 より 13 % 少いだけで大体同じであるからである。

以上のことから風速の垂直分布がわかれば Sutton の拡散式からある一定距離において風向と直角方向における煙の濃度の総和を求めることが可能であるという見込がついた。しかし、これも実際の濃度分布が誤差函数形よりひどく偏っていない場合についていえることである。しからば実際の分布と計算値との一致はどの程度であるかを次に検討してみよう。

§ II-13 O. G. Sutton の式による濃度計算値と実測濃度との比較

各発煙毎に濃度のピークと $1/10$ 濃度地点の値を用い Sutton の拡散式を仮定して、各回ごとに C_y , C_z の値を計算した。今この C_y , C_z を用い式(II-6)により発煙毎にいろいろな x に対応する x を計算し、これをピークを合わせて Fig. II-8 にプロットしたのが同図の点線である。この計算値と実測値とが合えば O. G. Sutton の拡散式により濃度分布を計算することは

差支えないと考えてよく、又合えば原研散地のような林中開地でもかなりよく誤差函数的分布をするものであるということが言える。

各回の一致性を通覧すると、全くよく一致する時とピークをずらせば大体よく適合する場合と、松林の影響のため合わない場合があるが全体としてはかなりよく合うといつてよいであろう。

第1回発煙 風が図の右方に偏ったため少し一致が悪い。しかし積分値では大差ない。

第2回発煙 測定方法が悪いので計算しなかった。

第3回発煙 曲線は非常によく一致する。

第4回発煙 測定器が松林の中にある部分 (No. 1, 2) は滞留の影響で実測値が大きい。その他の部分はかなりよく一致する。

第5回発煙 煙の流れの途中にある小屋のため横の拡がりが大きくなり、ピークは低くなった。少し一致性がわるいが実測値の左右対称性は失われていない。

第6回発煙 実測ではピークがフラットになっているが、実測曲線は計算曲線と傾向が一致する。従ってフラットピークの真中まで計算値を移動するとよく合ひ、積分値も一致する。

第7回発煙 これも第6回と同じくピークがフラットになっている。計算値を移動すれば減少の傾向はほとんど一致し、積分値も等しくなる。第6回、第7回は最遠の発煙の例で、距離が遠くなると風向の変動のためピークはフラットになる。

第8回発煙 曲線の形は風向偏倚のため少し異なるが大差なく、積分値はほとんど一致する。

第9回発煙 第10回発煙 垂直分布測定のため計算せず。

第11回発煙 風向が測定線の両端近くに偏ったため少し一致が悪い。

第12回発煙 風向偏倚のため大きなピークが2つ出て計算値との一致性は悪い。偏倚しない側の減少曲線は一致している。

第13回発煙 前回と同じく風向偏倚のため少し一致性は悪いが、積分値はほとんど等しくなる。

第14回発煙 これも前回と同じく、ただ反対の方向に風向偏倚しているので、多少一致が悪い。

第15回発煙 これも風向偏倚のため一致性は悪い。

第16回発煙 かなりよく両曲線は一致している。

第17回発煙 非常によく両曲線は一致している。

以上のことから、実測濃度のピークと $1/10$ 濃度の 2 点から求めた C_y , C_z を用い、Sutton の拡散式により風向と直角方向の濃度を計算してみると、実測濃度の

各点の値とまずよく一致するとみてよい。すなわち煙の地上濃度分布は風速の垂直分布さえ求めれば、Sutton の式を用いて計算によって求めることができることを示すものである。

§ II-14 煙源の高さと地上濃度 Peak, x_p との関係

煙源の高さと地上濃度との関係を見るために、2月4日及び2月6日の両日に煙源の高さを変えて発煙を行った。標記の関係を測定から厳密に求めるためには同一時刻に各高度より発煙を行い、同一距離に測定線をして煙源の高度別に濃度測定を行えばよいが、これは不可能であり、又敷地内の建物のため煙源と測定線との距離を一定にすることができない。従って、日中あまり気象状況の変化しなかった2月4日と6日の

日を選び、逐次煙源の高さを変えて測定を行った。

2月4日は5, 6, 7, 8回の発煙、2月6日は11, 12, 13, 14回である。(14回は風速が変り比較に使用することができない)。今煙突のことを考えれば2月4日の測定が問題になる。

2月4日の5, 6, 7, 8回の発煙時に気象状況は、大きな目でみればほとんど変わらないが、(Fig. II-12), TABLE II-7 及び資料2気象観測資料にみる通り、風速 $\bar{u}$ が少し変化し、従って n , C_y , C_z も少し変わって来ている。又発煙のつど Q 及び x , 従って x^{2-n} が変わってきているので、5, 6, 7, 8回の x_p をそのまま高さの順にプロットしても高さの影響を示すものにはならない (Fig. II-13 A)。そこでこれら各回の x_p について比較できるようにして煙源の高さとの関係をみうように補正の方法を考えてみる。(全体の濃度分布は大体 Fig. II-8 にみるとおり Sutton の式に従うので x_p と h との関係をみればよい)。

$$x_p = \frac{2Q}{\pi C_y C_z \bar{u} x^{2-n}} \exp \left[-\frac{1}{x^{2-n}} \left(\frac{h^2}{C_z^2} \right) \right]$$

であり、これと少し気象状況、煙源の強さ及び距離が異なり h が同じな時の x_p を x_p' とおきすべて「'」をつけて表わせば、その比は

$$\frac{x_p}{x_p'} = \frac{Q}{Q'} \frac{C_y' C_z'}{C_y C_z} \frac{\bar{u}'}{\bar{u}} \frac{x'^{2-n'}}{x^{2-n}} \times \exp \left[\frac{h^2 (x'^{2-n'} - x^{2-n})}{C_z^2 (x^{2-n} x'^{2-n'})} \right] = a$$

$$\therefore x_p' = \frac{1}{a} x_p \quad (\text{II-15})$$

となる。

地上発煙の時は $h=0$ となり

$$\frac{x_p}{x_p'} = \frac{Q C_y' C_z' \bar{u}'}{Q' C_y C_z \bar{u}} \frac{x'^{2-n'}}{x^{2-n}} = b$$

$$\therefore x_p' = \frac{1}{b} x_p \quad (\text{II-16})$$

となる。この関係が成立つか否かをチェックするには、上に述べた様な条件にあてはまる例について計算してみればよい。数多くの例があれば確実性を増すが今回の測定では第16回、17回発煙しか見当らない。第16, 17回は TABLE II-7 に示すように共に地上発煙で気象状況も煙源の強さもわずかしき変化していない。まず16回の x_p を17回の気象状況、煙源の強さ及び距離にした時を計算してみるに、式 (II-16) より

$$x_p' = \frac{1}{b} x_p = 2.556 \times 16137 = 41237$$

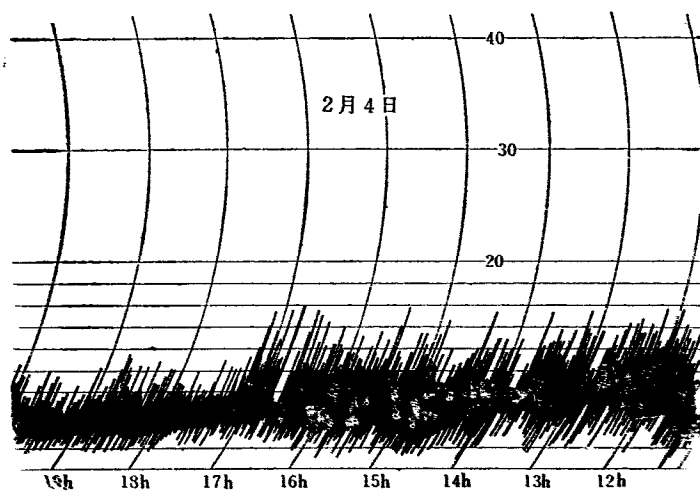
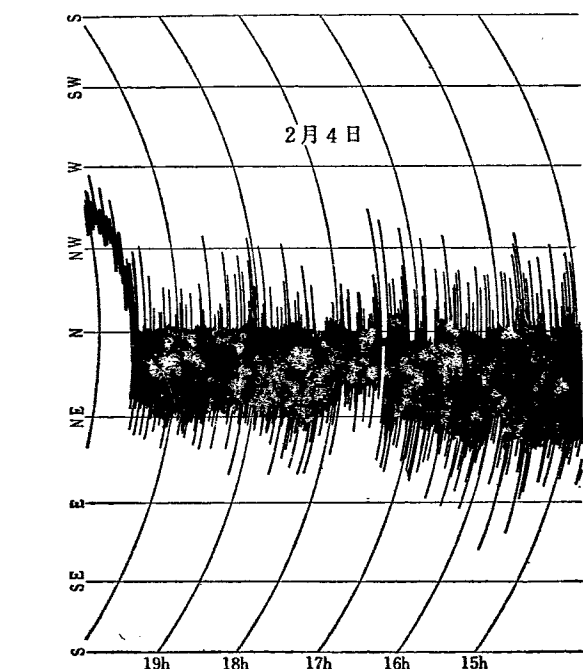
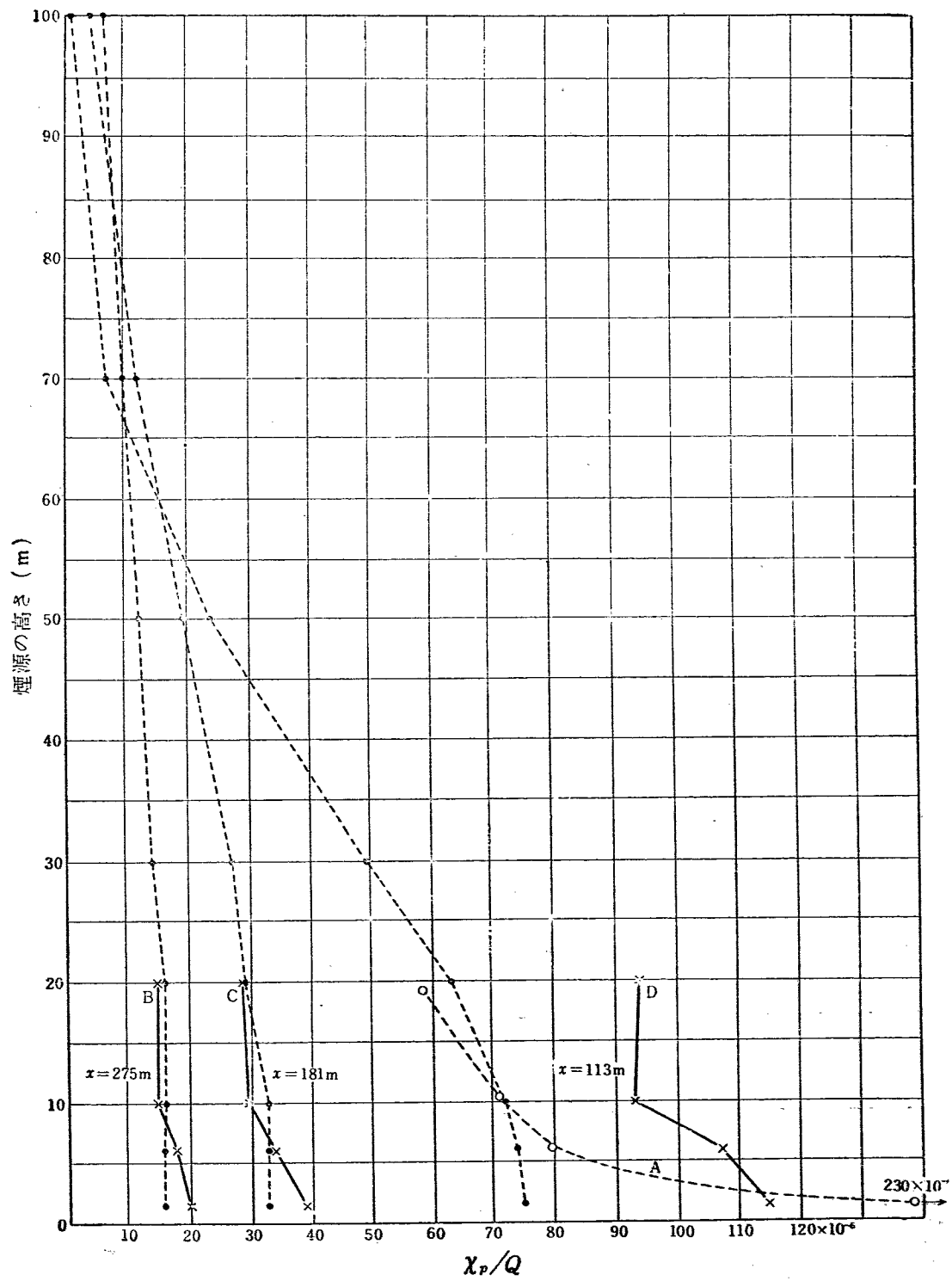


Fig. II-12 2月4日の風向風速 (エーロペン記録)

Fig. 11-13 煙源の高さと地上濃度 χ_p との関係

となる。これは17回発煙の $x_p = 4324r$ とくらべると 5%の差しかなく、よく一致するといえる。従って、式 (II-15) (II-16) の補正は微小な気象状況、煙源の強さ、距離の変化の時適用できると考えてよい。

さて、2月4日の 5, 6, 7, 8 回はみな多少気象状況、煙源の強さ、距離等が異なるから、煙源の高さ h と x_p との関係のみをみるためには、同一気象状況、煙源の強さ、距離等に引直して x_p を比較しなければならない。例えば、5回発煙を標準として考えれば、6, 7, 8 回の x_p を 5回発煙時の気象状況、煙源の強さ距離等に引直せば、よくそのためには式 (II-15) 式を用いればよい。それぞれ 6, 7, 8 回の各要素は「'」のつかないもの、5回は「'」のついたものと考え TABLE II-7 を用いて計算すればよい。6, 7, 8 回のいずれを標準とし他をそれに引直す方法も同様である。

この補正方法を施した結果と h との関係を Fig. II-13 B, C, D の実折線で示す。Bは6回及び7回を標準とした時で、計算値はほとんど同じになり線は重なる。Cは5回をDは8回を標準とした時である。これは又煙源からの距離がそれぞれ 275 m (B), 181 m (C) 及び 113 m (D) についての h と x_p との関係である。横軸の目盛は比較するため単位煙源の強さに対する濃度がとつてある。

この図によると煙源の高さが 1.5 m 及び 6.2 m の時 x_p/Q の値が大きくなっているが、これは 1.5 m 及び 6.2 m の時の n が他の場合より大きく、かつ 6.2 m 及び 1.5 m の時 x が小さいので、補正の式のうち x^{2-n} の項が小さく、従って $x^{1/2-n}/x^{2-n}$ が大きくなったためである。もっとも 8 回の 1.5 m の時の測定は夜となり気温の低下と共に幾分乱れも少くなり、かつ距離も短くなり、 x_p が非常に大きく測定されていることにもよる。このように考えると距離 275 m (B), 181 m (C) ではほとんど h と x_p/Q とは無関係で x_p/Q は一定と考えてよいが、距離 113 m (D) では煙源の高さが低くなると、 x_p が増す傾向が出て来ている。

B, C において x_p/Q は h が 20 m まではほぼ一定とみなされることは O. G. Sutton の式から推定されることで、式 (II-6) で煙源の高さ h のきくのは exponential の項のみであり、 h が 20 m 以下で $x=100 \sim 300$ m の時 h^2 は x^{2-n} にくらべ非常に小さく exponential の項はほとんど 1 になり、 x_p は h に左右されない。これが B, C に表われている。しかし x が小さくなると h の影響が出てくる。今 5, 6, 7, 8 回の各エレメント C_y , C_z , $\bar{u}$, x , n についてそれぞれ平均値を求め、これをこの測定全時間の平均状態を表わす

ものとして一定とし、 x を B, C, 及び D の距離と同じくした時 h を変えて x_p を計算すれば、それぞれの距離において h が変った時の x_p の変化を表わすことになる。これを示したのが、B, C, D の傍の点線である。これによってみても分るとおり、距離が一番遠い時点線は立って減少は少い。すなわち x_p/Q に及ぼす影響は少く、距離が短くなるにつれて漸次 h の影響が早く下の方より現われてくる。D 線とそれに対応する点線はひどく離れ形も異なることは 8 回を標準とすることは不適當であることを示すものであろう。

この平均値を用いた x_p/Q と h との関係を一応その時の理論値と考えれば、距離 181 m 以上離れた地点では h と x_p/Q の実測値は理論値と合うと考えてよいであろう。距離が近いと理論値より実測値が大きく出そうである。

従って 2月4日のような気象状況の時の h と x_p/Q との関係は、この点線の示すようなものであると考えてよく、風速垂直分布の測定を行えば Sutton の拡散式から h と x_p/Q との関係を求めることができると考えてよいであろう。

以上をまとめると、距離約 300 m 位では煙源の高さは地上濃度 x_p にほとんど影響なく、200 m の距離になると影響は少し現われ、100 m 位になると相当大きく現われて来ることがわかる。 Q , x_p , x を規定しておけばそのときどきの C_y , C_z , $\bar{u}$ を用いれば逆に必要な h を計算することができる。

§ II-15 煙源の高さと風下濃度最大値 $x_{\max}$ との関係

煙の地上濃度でもう一つ重要なものは、煙源の風下にできる地上濃度の最大値 $x_{\max}$ である。もちろん $x_{\max}$ は煙の中心線上に存在するはずで、その大きさは煙源の強さ、煙源の高さ、風速、及び拡散係数に関係する。 x_p は煙源から一定距離において風向と直交する測定線上の濃度の最大値であり、 $x_{\max}$ と混同しないようにする。(Fig. II-10 参照)

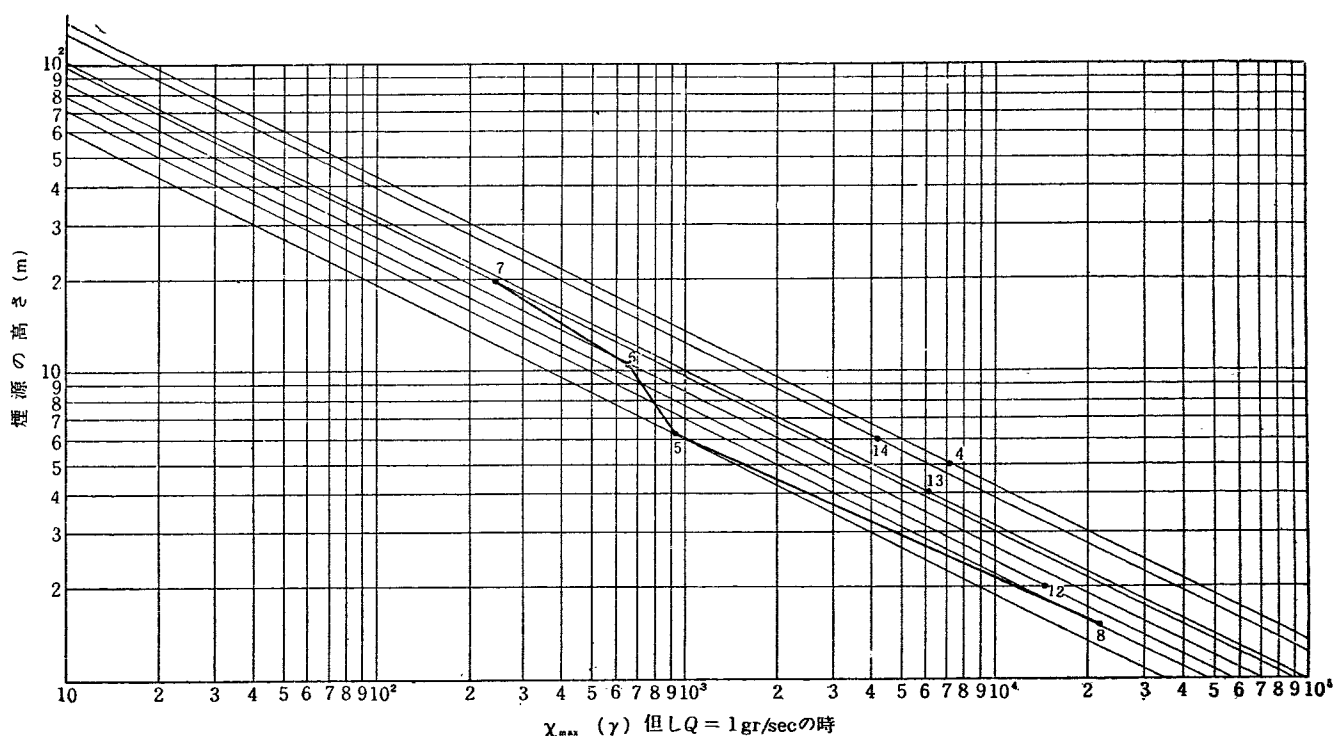
煙の地上濃度分布は O. G. Sutton の式で表わされることが解ったので、 $x_{\max}$ も Sutton の式から導出される。

すなわち、式 (II-7) を x について偏微分し 0 とおいて $x_{\max}$ の生ずる距離 $d_{\max}$ を求めれば

$$d_{\max} = \left(\frac{h^2}{C_y C_z} \right)^{\frac{1}{2-n}}$$

これを x に代入して $x_{\max}$ を求めれば

$$x_{\max} = \frac{2Q}{e \pi h^2 \bar{u}} \frac{C_z}{C_y} \quad (\text{II-17})$$

Fig. II-14 煙源の高さと $\chi_{\max}$ との関係

地上発煙 ($h=0$) の時は $\chi_{\max}$ は ∞ となり位置は煙源と一致する。

今各発煙において $\chi_{\max}$ を計算するに必要な要素は求められているので (TABLE II-7), 式 (II-17) により計算を行い, 値を両対数図にプロットすると Fig. II-14 のようになる。各回の $\chi_{\max}$ を比較できるように $Q=1 \text{ gr/sec}$ の場合に換算してある。図の点の傍の数字は発煙回数を表す。この点は実測と同じものと考えてよく, 各回について h のみを変化させた時の $\chi_{\max}$ の値が直線で示してある。これは理論値と考えてよい。これらの直線は平行線になることは式から明かである。

この調査期間中の気象状況では単位煙源の強さに対し, $\chi_{\max}$ は大体この直線群の中におさまるものと考えてよく, 又2月4日の5, 6, 7, 8回の h を変えて発煙した時の $\chi_{\max}$ を結ぶ折線が大体これら直線群の間を平行しているとみてよいことから, $\chi_{\max}$ の実測値と理論値がほぼ一致するものとみてよく, $\chi_{\max}$ は Sutton の式から計算できることを示すものである。

§ II-16 煙の濃度の垂直分布

2月5日は風向は初めSEであったので, 発煙槽の各高さに集じん器を上げ発煙点を線状にもうければ, 煙源と発煙槽の間に障害物がなく線状煙源の時の煙の濃度の垂直分布が測定できるはずであったが, 準備を完了した時風向が変りNE風となった。この風向では

煙源と発煙槽の間に松林がはさまり (Fig. II-7 第9回, 10回発煙), 煙がみだされて法則的な結果は出そうにもないように思われたが, 一方この様な場合実際の濃度分布がどんな風になるかも興味があるので測定を実施した。

集じん器を地上0.2, 1.5, 5, 10, 15, 20, 25mの高さに上げ, 煙源をやぐらのNE約70mの3ヶ所に

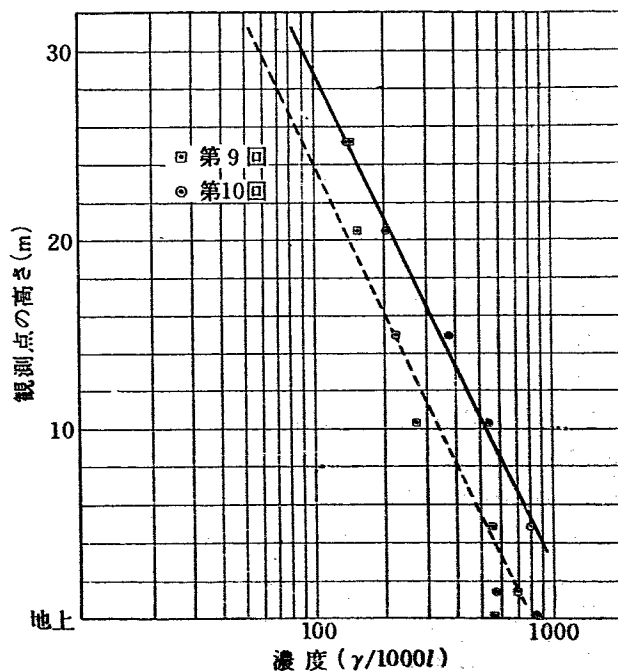


Fig. II-15 煙の濃度の垂直分布

おき同時に発煙した。観測は2回、15時23分～15時41分(第9回)及び16時00分～16時35分(第10回)に亘って行った。

測定結果を片対数方眼紙に画くと Fig. II-15 のようになる。測定点の高さと濃度との関係は指数函数形で表わされるとみなしてよい。最も濃度の大きい高さを第9回では1.5 m, 第10回では5 m とすると、 $1/10$ 濃度の点までを垂直拡がりと考え、それぞれ27 m, 31 m となる。

Sutton は無限線状煙源の連続発煙の場合 z の高さにおける濃度 $\chi(x, z)$ は⁽¹⁵⁾

$$\chi(x, z) = \frac{2Q}{\pi^{1/2} C_z \bar{u} x^{1-n}} \exp\left[-\frac{z^2}{C_z^2 x^{2-n}}\right]$$

で与えられる。今この場合煙源は3ヶの発煙点よりなっているが煙の拡がりよりみて充分無限線状煙源の連続発煙とみてよいので、この拡散式を用いて、最大濃度の高さを z , $1/10$ 濃度の高さを z_0 とし、その比をとれば

$$10 = \exp\left(\frac{z_0^2 - z^2}{C_z^2 x^{2-n}}\right) \quad (\text{II-18})$$

n は前と同様にこの時の風速の垂直分布より式 (II-10)を用いて計算する。30m及び1.5mの所の風速から n を求めると第9回は $n=0.74$, 第10回は $n=0.76$ となり、ほとんど等しい。式 (II-18) から C_z^2 を計算すると第9回では $C_z^2=1.47$ (m) 第10回では $C_z^2=1.01$ (m) となり、他の回の C_z と大体 Comparable である。

発煙やぐらと発煙点の間には高さ約10 m 前後の林があり、この影響が濃度の垂直分布に現われるものと期待したが、誤差函数的分布となり、水平方向の濃度分布と同じように Sutton の拡散式で計算できる型となった。林の影響は林内の滞留による低高度の濃度の異常な増大と考えたが、実際は発煙筒から出た煙は上昇して松林内を流れるよりもむしろ樹冠上を多く流れたために、全体として図に示すような分布をとったのかもしれない。又やぐらの西に風向に沿う道があるため、やぐら附近の松林の空気は吹通しがよくなり、滞留があまり起らなかったのかもしれない。

§ II-17 O. G. Sutton の拡散係数と風速との関係

拡散係数と風速とは最も密接な関係にある。調査期間中の風速約1～7 mの範囲内で、このような林中開地の中の Sutton の拡散係数と風速との関係はどうなっているかを調べた。風速には煙の拡散に最も効く発煙点の高さの風速を用い、 C_y , C_z 及び $C_y \times C_z$ と風

速 $\bar{u}$ との関係を示したのが Fig. II-16 (1) (2) (3) である。 C_y と $\bar{u}$ の関係は風速が小さくなると C_y は大きくなる傾向にあり、J. Z. Holland の計算した図と一致する⁽¹⁶⁾。この関係は20 m 以下の高度では一般に成立つものと考えられる。更に細別してみるに、地上発煙の場合のみを集めるとほぼa線になり、2月6日の点はb線、2月4日の点はc線になる。地上発煙の場合は点がばらつくが、他はまとまっている。この関係が直線かどうかは疑問であるが、J. Z. Holland が Oak Ridge のデータを用いて丘陵地帯の C_y を計算した結果と比較すると、まず直線関係とみてよいであろう。各直線の傾斜は日によって異なるが、これは恐らく気層の安定に関係するものであろうが、この点の n をしらべても明かな関係は出てこない。

次に C_z と $\bar{u}$ との関係を図の(2)に示す。 C_z は C_y よりまとまりがよく、地上発煙の場合はある曲線aに乗り、2月6日はb線で共に風速が小さいと C_z は大きくなり、 C_y と風速との関係と同じであるが、2月4日の C_z は逆の関係にあり $\bar{u}$ が増すと C_z も増している。a, b は前にも述べた Holland の求めた関係と同じであるが、C は逆になっている。2月4日はすでに述べたように各発煙時の気象状況特に風速の垂直分布はほとんど変っていないので、風速は高度に比例して大きくなっており、 C_z が $\bar{u}$ に比例して大きくなっていることは C_z が高度と共に大きくなっていることを示す。これは樹冠による風の乱れ、特に開地への風の吹下ろしによる上下方向の交換が大きいことを示すもので、風速垂直分布が変らない時は地上より樹冠の高さまで C_z は増加する。樹冠より上の方は観測がないので分らないが、恐らく高度が増す(風速は増大する)が C_z は再び小さくなるものと推定される。地上発煙の場合には $\bar{u}$ が小さい時 C_y にくらべ C_z の増加率が大きい。 $\bar{u}$ が小さい時は天気がよく、日射が強く地面附近は対流が起り上下の交換が大きくなる。この現象がかなりきいて C_z の増加率が大きいのではないかと推定される。事実1, 3回は快晴で風速弱く、地上気温も高い。11, 16, 17回は曇りであるが地上気温高く風速が弱い(気象資料参照)。

次に、全体としての拡散係数を示すものとして $y \times C_z$ の値と $\bar{u}$ との関係を図に画いてみると図(3)のようになる。(3)のaは地上発煙の場合でbの2月6日の形と傾向がよく似ている。 C_y , C_z と $\bar{u}$ が大体直線式で表わされるならば $C_y \cdot C_z$ と $\bar{u}$ は2次曲線的(双曲線)関係になるはずで(3)のa及びbは大体これを表わしている。2月4日のcはこれと異なり、

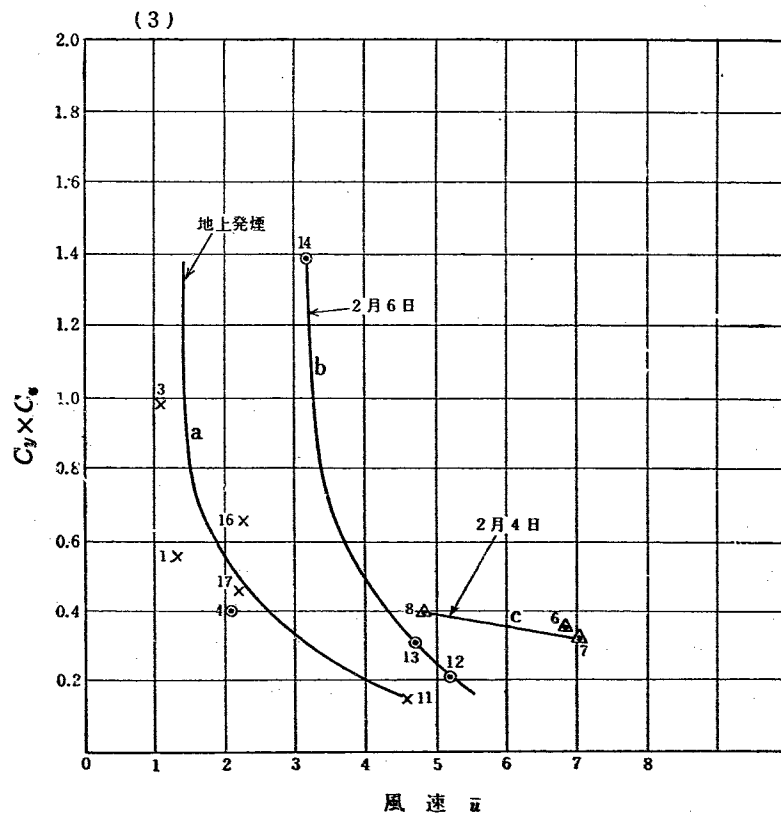
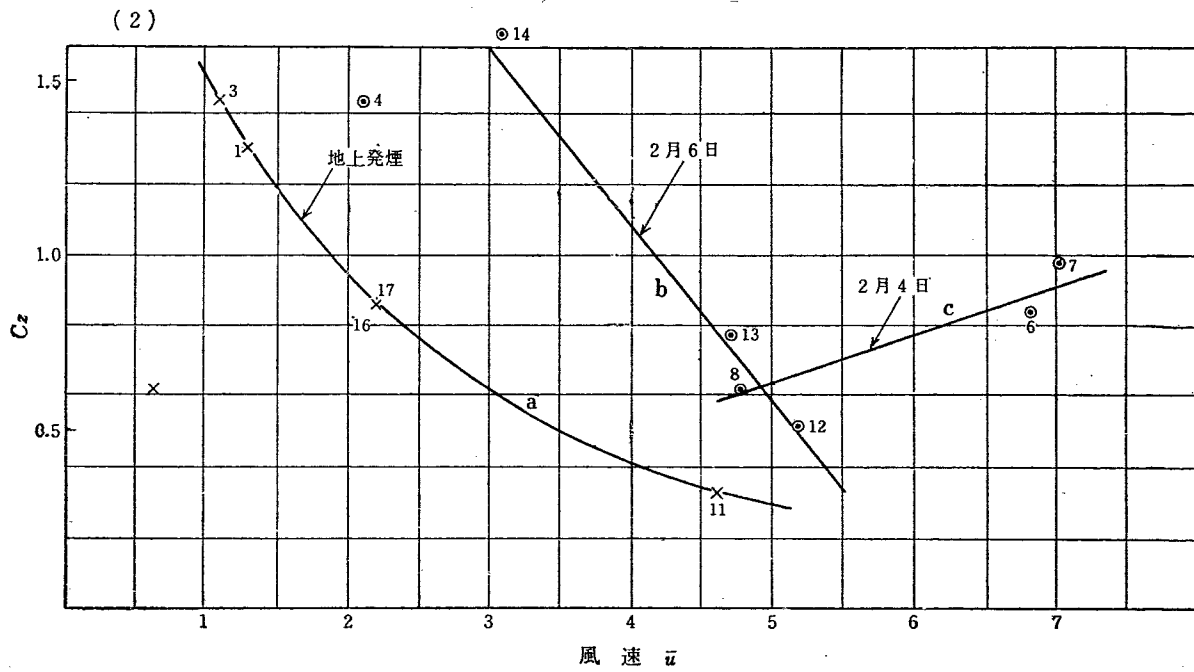
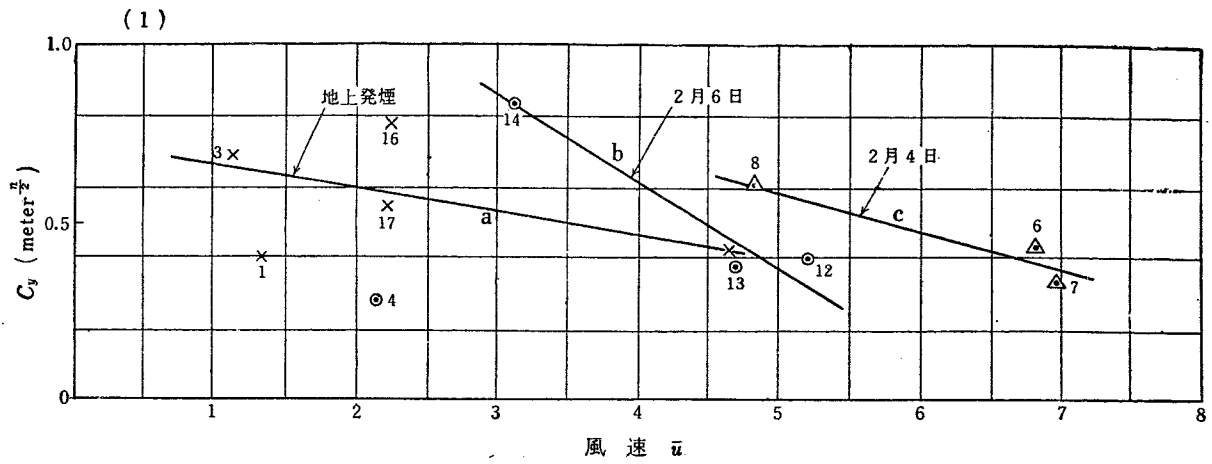


Fig II-16

散係数と風速との関係

C_y , C_z の値はあまり変化せず $\bar{u}$ との関係は $\bar{u}$ が小さくなるにつれて僅かに大きくなっているに過ぎない。

以上のことから、この敷地内では地上及び地上数メートル以内の高さでは、風速が増すと C_y , C_z は共に大体直線的に減少し、同一時刻における $\bar{u}$ の垂直分布とそれに対応する C_y , C_z の分布は増減の傾向が相反することがわかった。

§ II-18 C_y , C_z の垂直分布

C_y , C_z の垂直分布を求めるため、2月4日及び2月6日の両日煙源の高さを変えて地上濃度を測定したが度々述べたように2月4日は全発煙時刻とも風向風速がほとんど変らなかったで煙源の高さの風速分布が同一時刻における風速の垂直分布とみなしてよい。従って C_y , C_z と風速の関係は前節で求めた通りで、又高度との関係も求められる。ところが2月6日は地上0mより煙源を2, 4, 6mと高くするにつれ、すなわち時刻と共に風速が小さくなってきて、発煙時の風速の分布が高度に対応するとはみなされない。従って風

速と C_y , C_z との関係は求まっても高度と C_y , C_z との関係は求められない。故にここでは2月4日の測定値についてのみ論ずることになる。

Holland は Oak Ridge 平原の測定で C_y と z との関係を求めた¹⁷⁾。ここでもこれにならい片対数方眼紙に z と C_y , C_z とを画くと Fig. II-17 のようになる。図には Holland の求めた直線も示してある。 C_y と z とは直線関係で表わされ Holland の求めた関係と同じになるが、その傾斜は大きい。これは林中開地への吹下ろしが地面近くで横にひろがると考えれば説明がつくし、 C_z が高さと共に増すことは樹冠附近の高さで上下の交換が一層激しく、気流が下降するにつれてそれが小さくなると考えればよい。

Oak Ridge (Neutral $n=0.25$) 又は Sutton の平均値にくらべ、原研敷地の C_y の値自体20m以下では2~3倍になっており、林中開地では乱れが広い平原地より大きい事を示しているが、その直線を延長すると大体 Oak Ridge 又は Sutton の100m 辺で交る。

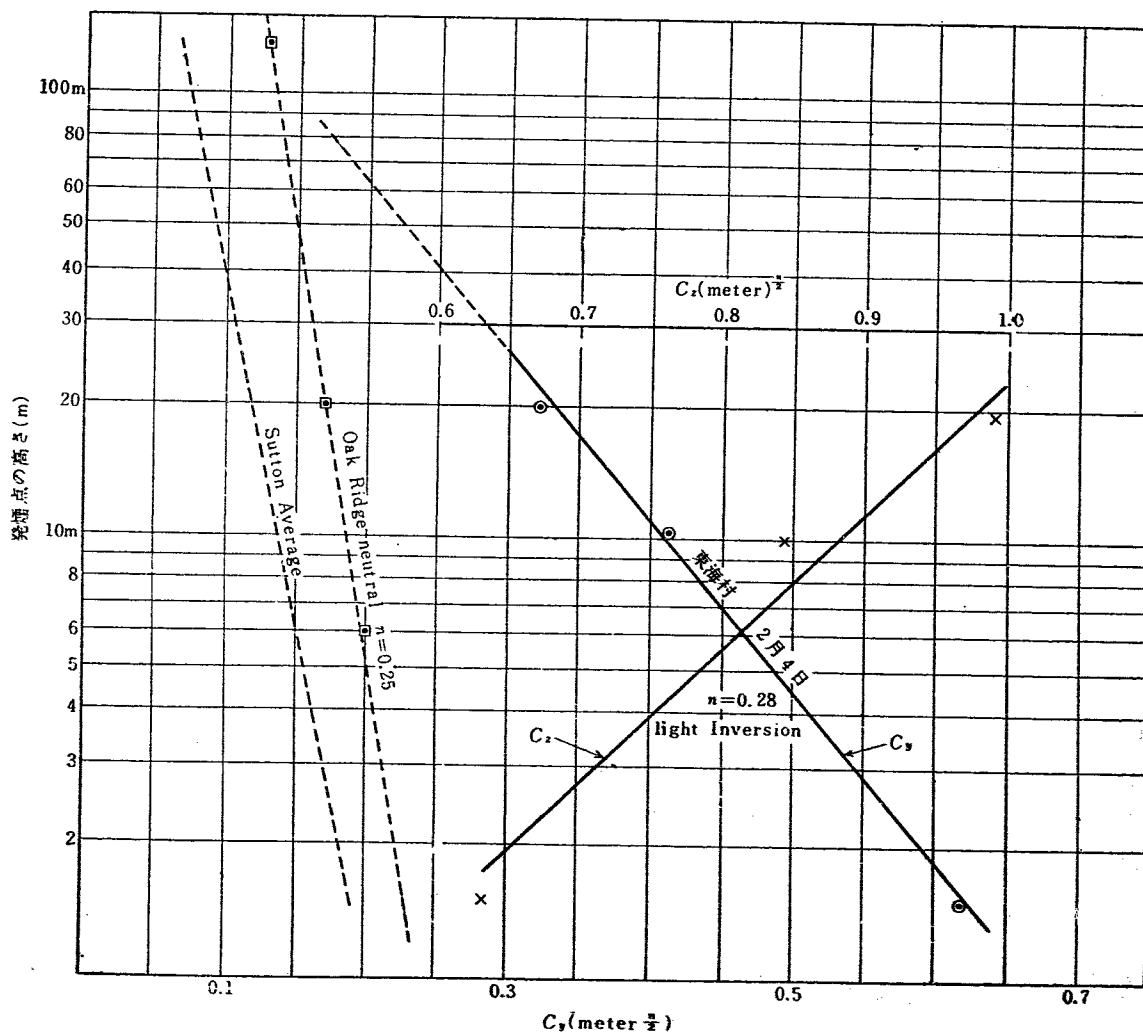


Fig. II-17 高さによる C_y 及び C_z の変化

予備観測では松林の気流に及ぼす影響は敷地の上空50 m 位に強く現われることから¹⁸⁾, C_y の直線が100 m 附近で Oak Ridge の C_y の直線と合することは, Oak Ridge が広い平原の中にあることを考えれば, 松林の影響が100m 附近では消えて, 自由大気中の C_y に等しくなることを示すものであろう。

§ II-19 煙の幅

煙の幅は目に見える幅を定めることは困難であるし又いろいろな計算に便利な点からピーク濃度の $1/10$ の濃度をもって煙の幅とすることが多い。煙の幅は煙源と測定点の距離と風速及び拡散係数並びに気層の安定度等に関係するが, ここでは概略の煙の幅はどの位あるかを知るため, 距離と風速との関係をしらべた。これは調査期間中風向はほとんどNE~Nであり, 風速も1~8m (地上) であるから大体同じ気象状況とみてよく, 風速と距離から推定できると考えたからである。将来測定線の長さを決定する時の参考になるであらう。TABLE II-7 から y_0/x と $\bar{u}$ とを求め図にプロットしたのが Fig. II-18 である。

この図によると単位距離についての煙の幅 (y_0/x) は平均風速と共にほぼ直線的に増加していて, 煙源と測定線間の距離 (x) の約4~6 割になると考えればよい。図の実線は地上発煙と地上数メートルまでの煙源の高さの場合で, 煙源の高さが地上10メートル附近かそれ以上の場合には点線のように一段と幅が小さくなると思われる。但し点が少いので上の線と平行になる

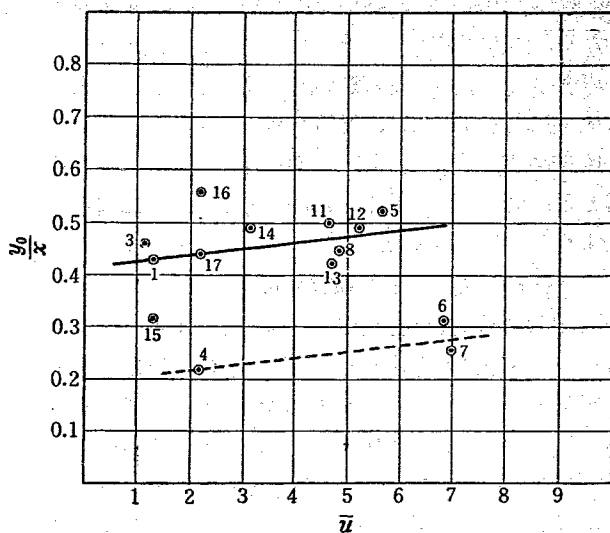


Fig. II-18 煙の巾と風速との関係

か否かははっきり分らないが, 煙が上空を流れる時, 煙の底部を切るようなかっこうになるため幅が小さく出るであらう。

§ II-20 n と気温てい減率

Sutton の拡散式の計算においては n が最も重要な意味をもち, n の値によって濃度の計算値はひどく異ってくる。この意味で n を計算する基礎になる風速の垂直分布の測定は最も大切であるが, 今回の測定は林の極く近傍で風下に設定したため, 樹木の影響で煙の実際の拡散が行われた砂原の上空の風速分布とは異なる値を得た。従って n の計算は前にのべた通り砂原の真

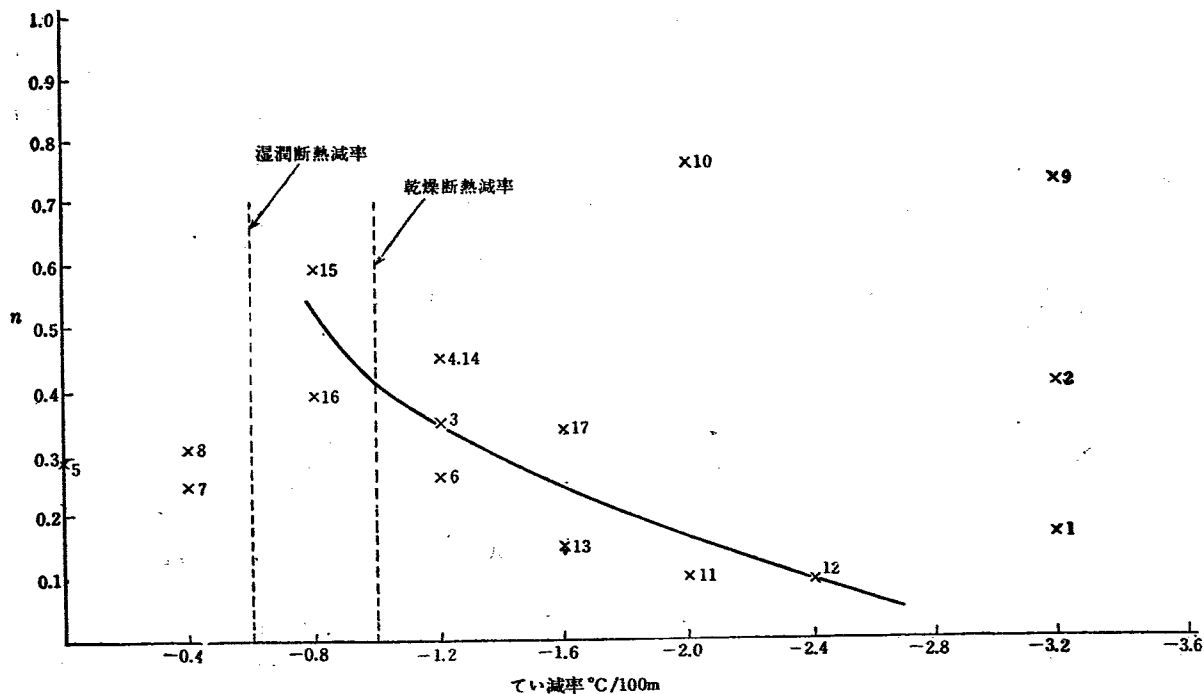


Fig. II-19 n と気温てい減率との関係, 傍字は発煙回数

中の 1.5 m の高さの風速と 30 m の檣上の風速とを用い、砂原の上空の風速分布とした。Sutton はこの n は気層の安定度を表わすパラメーターとして拡散式の中に導入した。それで n と安定度との関係が重要になるが、Holland も Oak Ridge の資料を用いて調査した結果は Sutton が示した n より大きく、しかも安定度との関係を示す図は点がバラついて一義的な関係は見当らないことを述べている¹⁹⁾。今回の観測でも 30 m の気温と 5 m の気温を用いてい減率を計算し、 n との関係を示したのが Fig. II-19 である。図によればやはり点はかなりバラつき、 n とい減率との関係ははっきりしないが、てい減率が小さくなると n は大きくなり、湿潤断熱減率と乾燥断熱減率附近が大体 n が一番大きく出ている。すなわち気層の安定度が増すと n が大きくなる傾向が出ていることは Sutton の指した所と一致する。

なお、点のバラツキはサーミスター自記装置の精度の悪さ (0.2°C) から由来すると考えられる。

§ II-21 今後の問題

煙の拡散観測を行って煙突の高さがどの位あればよいかを決定する資料は一応得られたが未だ不十分な点がある。それらの点を今後の問題として次に列記してみる。

1) 今回は原研敷地内の小規模の場合の煙の拡散観測であり、敷地内か極く近傍の地上濃度を対象にしたが、次は遠距離における煙の拡散観測を行い、大規模な拡散による地上濃度分布の実態を気象状況と関連させて把握しておくことが必要である。

2) 本観測は冬期間北東風の時行われたが、更にいろいろな時期において、風向、風速、気温てい減率、天気等の異なる時に拡散観測を行い、拡散係数を測定しておき、後は気象観測のみから拡散による濃度分布を推算できるようにしておくことが必要である。

3) 気象状況の極端な時すなわち、強風、大雨、大雪、又は強い逆転層発生時における煙の拡散観測を行い、地上濃度の分布や、雨雲による Deposite の量を知ることが必要である。特に後者の逆転層時の濃度分布は大切で、煙の到達距離やその拡がり、高さ等の観測が肝要である。

これらの目的を達成するためには固定式測定器では不可能で、機動力のある測定器とそれに応ずる発煙方法を考究しなければならない。すなわち

4) 発煙点と測定線との距離が遠ければ、風向の僅かの変化でも、煙の幅はかなり大きくなり、固定測定線ではその設定が難しくなり、かつ測定器が多数必要となる。故に空中濃度分布測定のためには航空機、地上濃度測定のためには自動車を使用し、車中で測定し自記できる器械が必要である。

5) この機動的測定器で捕捉し、検出できる煙剤が必要である。これは連続発煙が容易にでき、発生装置が簡単で、人畜無害で、廉価であることが必要である。

6) 現在のいかなる拡散理論式を用いるにしても、水平風速の垂直分布及び、垂直流の測定が必要で、特に Sutton の式では風速の垂直分布より計算したパラメーター n が計算値に大きく効いてくる。このため煙の主体が流れる高さの風速垂直分布をできるだけ簡単に測定できる風速計と装置とを研究することが必要である。これは対象とする乱れの大きさによって、測定精度が定まってくるので、この条件をみたすと同時に相当広い範囲の風速に切換えることなく使用できる風速計であることが条件となる。

7) 煙の粒子はできるだけ微少で、放射能汚染空気と同じ拡散をすると考えられるほどの微粒子であるものが必要である。

8) 又煙粒子の Fall-Out 及び Deposite 量を得られた C_1 , C_2 を用いて計算しておくことが必要である。

第 II 章 換気時間並びに拡散係数*

§ III-1 観測の目的

この観測の目的は、原子炉の排気煙突から出て地面附近におりてきた排気ガスあるいは実験中の汙洩ガスがどの程度林内に滞留するか、即ちどれ位の時間で換気されるかを判断する資料を得ることと、これらのガスの林内あるいは林内開地における濃度の変化を知ろうとする際に必要となる拡散係数を色々な場所の色々

な高度について実測し、その参考に供することである。

§ III-2 観測の方法

前述の目的のうちの第一の問題、即ち林内あるいは林内開地における換気時間は、主として林内あるいは林内開地の平均風速（これを用いると平均換気時間が

* この章執筆 気象研究所 根本茂、佐紐純男、内田英治、塚田清

わかる)あるいは摩擦速度(これを用いると実用的な最大換気時間がわかる)によつて支配されると考えられるので林内あるいは林内開地における平均風速の空間分布を出来るだけ細かく測定すればよいことになり、二次的なものとして次に考えられることは、樹冠層あるいは林の側面における吸い出し、吸い込みの効果と地形の影響による環流であり、林が無限に長い場合には拡散が問題となってくる。しかし、有限な林の場合にはその内部の空気は換気時間は、環流のようなものが存在しなければ大体平均風速によって平均換気時間が、また摩擦速度によって実用的な最大換気時間が決まると考えてよいと思われる。

次に、後の問題即ち拡散係数に関しては先づどのような値をとれば最も適当であるかということが問題であるが、拡散係数は、観測時間のとり方、平均風速、観測場所(附近の地形の影響)、高さ、気層の安定度、地表面の粗さなどによって変わってくるので、これはかなりむずかしい問題である。ここでは、拡散係数が観測時間のとり方によってどのように変わるか(これはどの程度の大きさの渦による拡散を考えるかということの意味する)を実測より求め、観測時間からみてどの程度の値をとればよいか、あるいはまた観測場所並びに高さによる拡散係数の変化の模様を相互に比較して林内および林内開地ではどのような値をとればよいかを判断する資料を求めることにした。

このためには、林の内外の適当な場所において、平均風速の高度分布、垂直流、細かい風速の変動、風向並びに気温の垂直分布を測定することが必要になってくる。而して風速を測定するための計器としては、従来主としてロビンソン型風速計と熱線風速計が用いられてきたが、この観測では拡散係数を求める際に必要となるため風の非常に弱いときの林内における極く小さい週期の変動も測定しなければならないので、風速計としてはすべて熱線風速計を用いた。次に風向に関してもまた毎秒数10cm程度の風速によっても作動する特別な微風用風向計を用いなければならない。このためには、既に微風用風向計として作製し今まで屢々野外観測で使用したピンポン球を受風体とした後に述べるような風向計を使用した。

§ III-3 観測装置および操作

水平風速並びに風向の観測には夫々3個の熱線風速計並びに微風用風向計を高さ約6mの組立式移動観測櫓に夫々1.7, 3.85, 5.9mあるいは1.9, 3.85, 5.7mの高さに取付け、垂直方向の拡散係数並びに垂直流測定用の熱線風向風速計は、前の組合せの場合には、

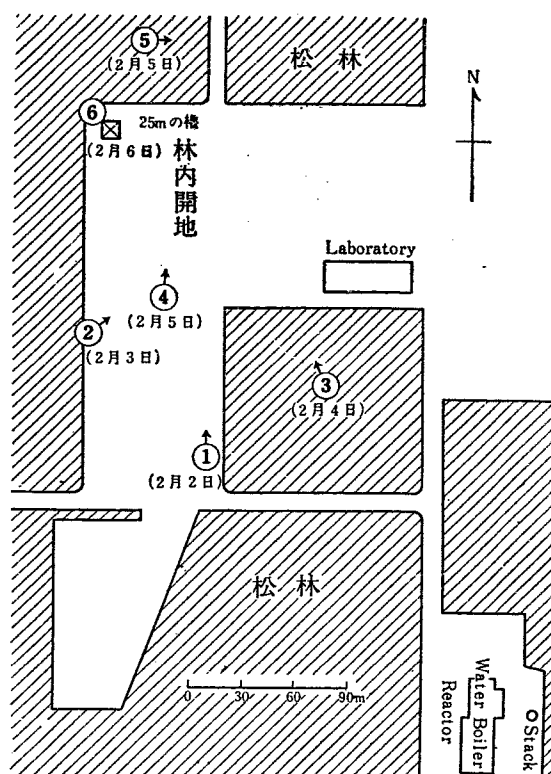


Fig. III-1 観測地点分布図(↑は観測櫓の向きを表わす)



Fig. III-2 観測地点:①
(櫓の向いている方向: N 1957年2月2日)

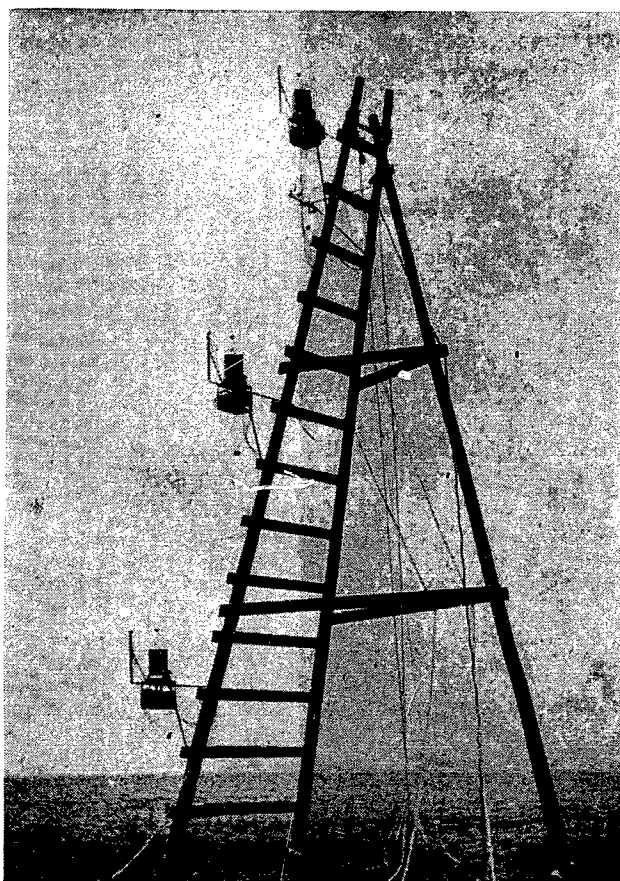


Fig. III-3 観測地点：②
(櫓の向いている方向：NE 1957年2月3日)



Fig. III-4 観測地点：③
(櫓の向いている方向：NW 1957年2月4日)

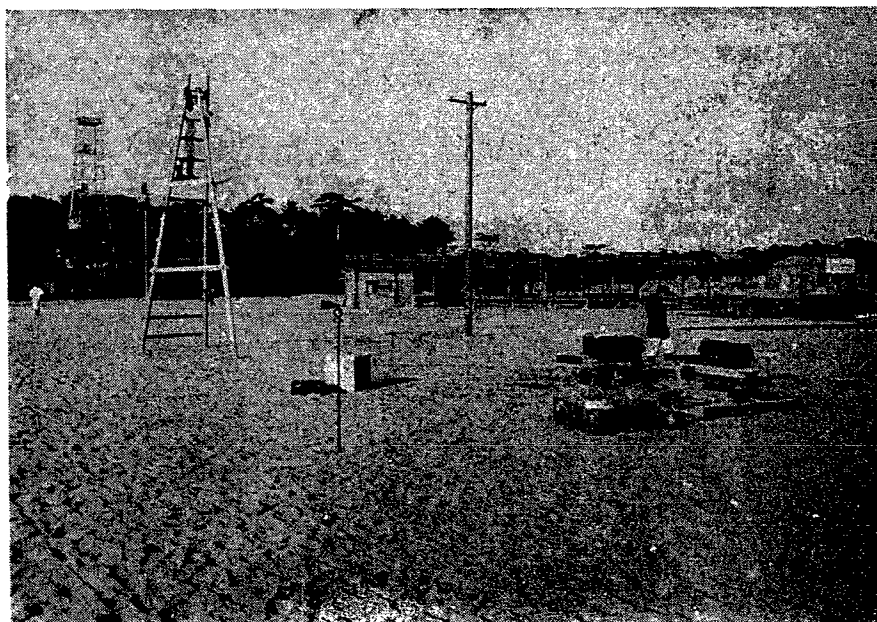


Fig. III-5 観測地点：④ (櫓の向いている方向：N 1957年2月5日)



Fig. III-6 観測地点：⑥
(塔の向いている方向：E 1957年2月6日)



Fig. III-7 観測地点：⑥ 高さ25mの塔 (林から塔までの距離は約10m) 1957年2月6日

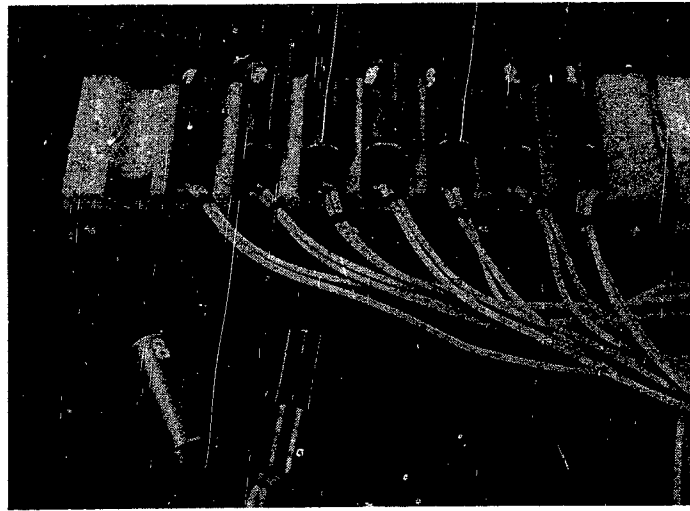


Fig. III-8 水平風速測定用熱線風速計の Element

① 水平成分測定用

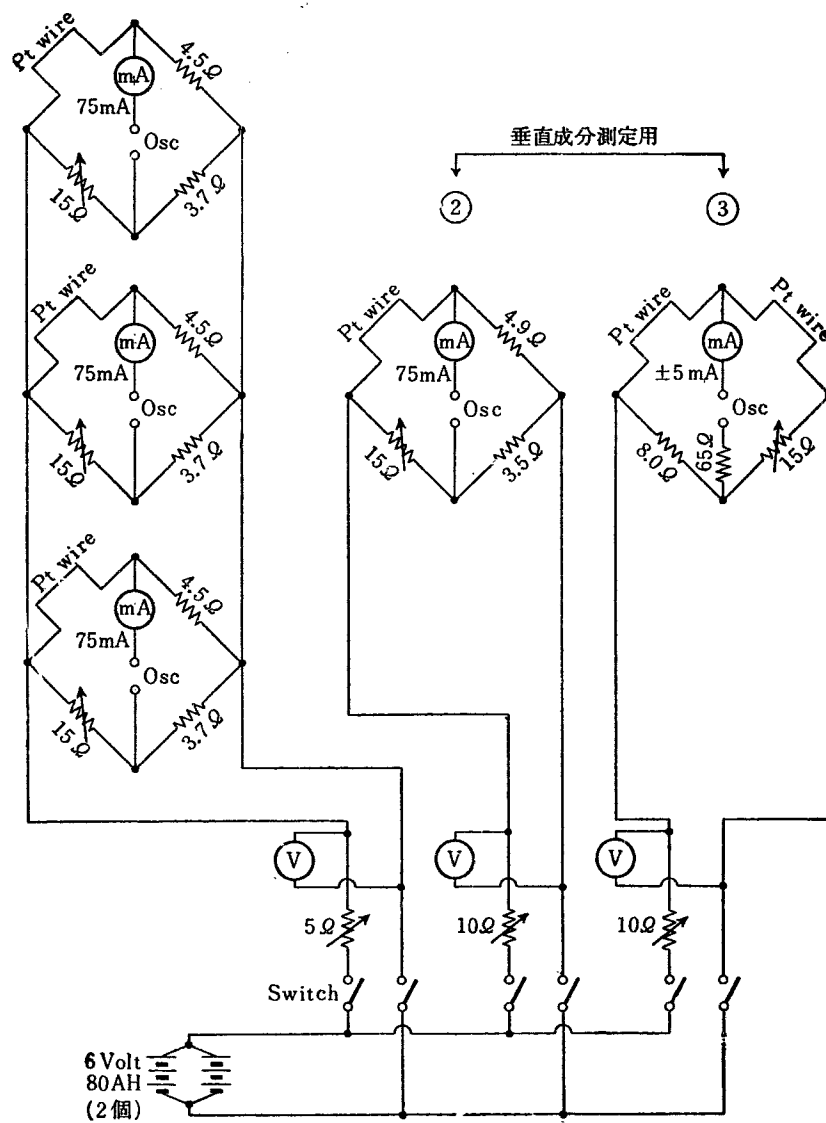


Fig. III-9 熱線風速計並びに熱線風向計回路図

5.4mの高さに、後の組合せの場合には5.65mの高さに取付け、この槽を Fig. III-1 に示したような①から⑤までの各観測地点に逐次移動させて各地点について各 5 min 間づつ 2 回、更に細かい週期の変動を記録するために早廻しで 30sec~1 min 間電磁オシログラフを作動して Bromide paper にそれぞれの変動を記録した。最後は観測地点⑥の位置に建ててある高さ 25m の固定観測槽の 5, 10, 15.2, 21m の高さに熱線風速計（このうち 15.2 m の高さには垂直成分測定用の熱線風向風速計）、5m の高さに微風用風向計を取付けて、10 min 間および早廻しで 1 min 間の観測を行った。

尚、各観測地点附近の状況は Fig. III-2~III-7 の写真に示す如くである。

次に、観測に使用した熱線風速計並びに微風用風向計について更に詳しく述べる。

1. 水平風速測定用熱線風速計

熱線としては太さ 25μ の白金線を使用し、これを Fig. III-8 に示す如く真鍮細線で作った枠内に約 1.5 cm の長さに張った。この観測では 8 個の Element を準備し、その抵抗値は 16°C においていずれも 2.70Ω であった。この Element を測定すべき夫々の高さに取付け、これより導線（長さ $40\text{m} \times 2$ 、全抵抗 1.0Ω ）にて Fig. III-9 の①に示した 3 個 Parallel に組んだ Wheatstone Bridge の各々の一つの腕に導入し、風速変動は A-type の振動子を用いて電磁オシログラフにより記録した。記録の読み取りにはあらかじめ風洞によって検定した風速と記録紙上の変位との関係から作った Scale を用いた。Fig. III-10 にその検定曲線の一例をあげておいた。

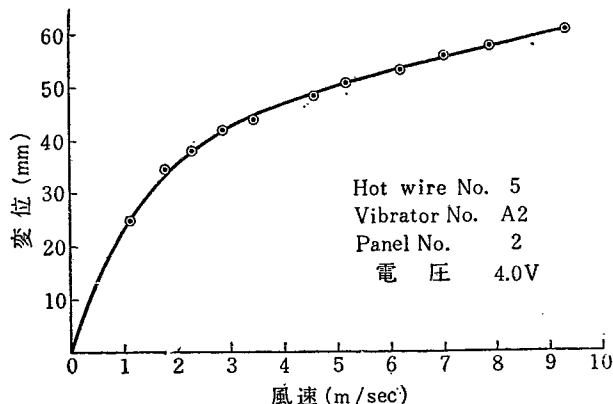


Fig. III-10 熱線風速計の検定曲線の一例

2. 垂直流測定用の熱線風向風速計

これは一本の白金線を垂直に張った一個の熱線風速計と Fig. III-11 に示す如く太さ 50μ 、全長 10 cm

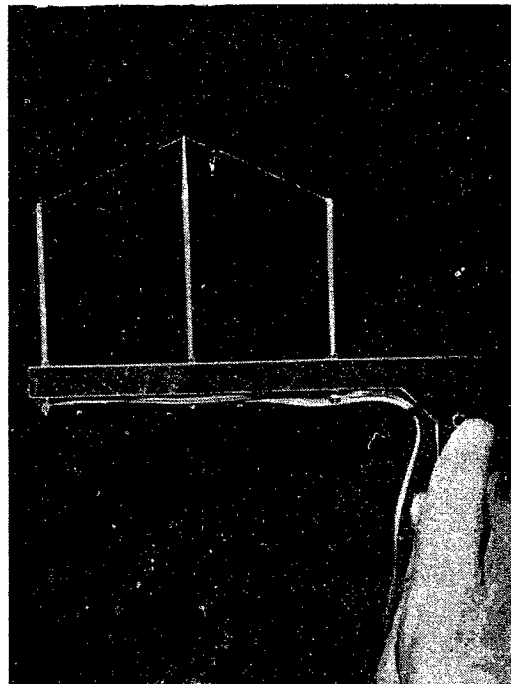


Fig. III-11 垂直成分測定用熱線風向計の元素

の白金線 (15°C における全抵抗値は 5.89Ω) を互に 130° の角度をなすように張ったものとを二つ組合せて風速の垂直成分を出すようにしたものである。即ち、一本の熱線の方はこれが地面に対して垂直になるように他の Element は二本の熱線の作る平面が主風向に平行になり、且つ二本の熱線が水平面に対して同じ角度をなすように取付け、前者によって u を測定し、後者によって垂直面内の風向（即ち仰角あるいは俯角 $\pm \theta$ ）を測定して

$$w = u \sin \theta$$

によって垂直成分 w を求めるのである。

槽には、自由に廻転出来る腕に両 Element の間隔を 40cm にし、小型水準器を用いて熱線風向計の二本の熱線が水平面に対して同じ角度をなすように取付け地面から細紐で操縦し熱線風向計の向きが大体その時々主風向に向くようにした。

u 測定用の熱線風速計は Fig. III-12 に示した如く、ベークライトの枠に太さ 25μ 、長さ約 2 cm の白金線（抵抗値は 16°C において 3.59Ω ）を真鍮細線の弾性を利用して真直ぐに張ったものである。この Element は導線で Fig. III-9 ② の Bridge に入れてある。一方、風向測定用の熱線風向計の Element は 3 芯のキャップタイヤコードによって Fig. III-9 の③の Bridge の二つの腕に導入し、記録はいずれも電磁オシログラフによったが、 u 測定用の熱線風速計による記録には A-type の振動子を、 θ 測定用の熱線風向計による風向の記録には H-type の振動子を用いた。

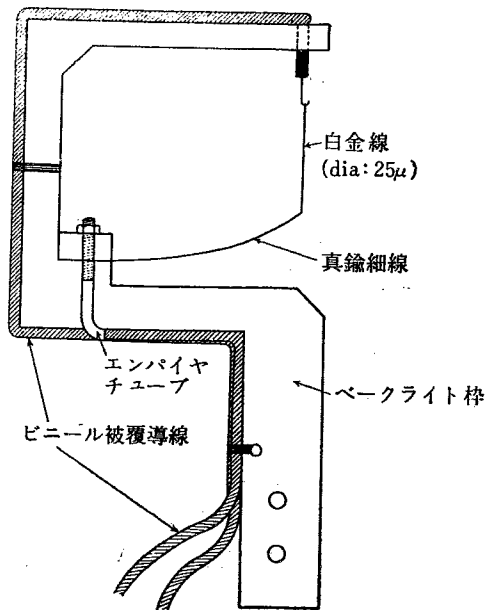


Fig. III-12
熱線風速計Element (u 測定用)

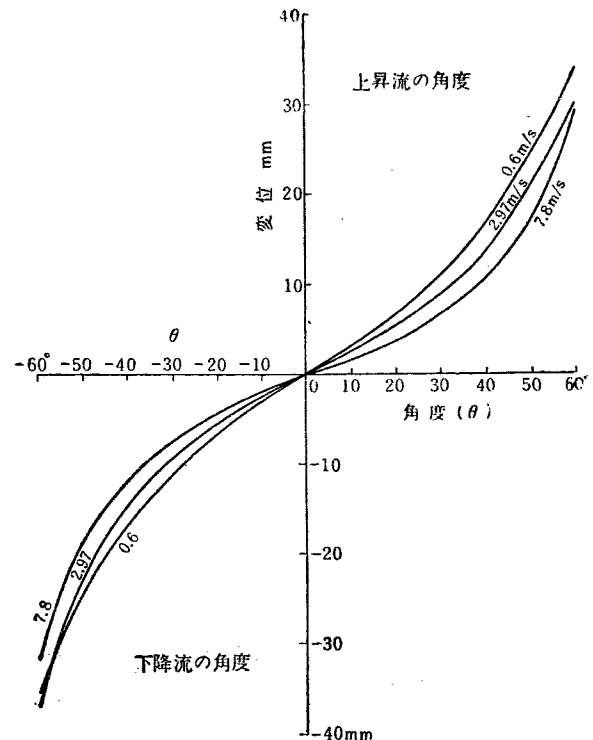


Fig. III-13 垂直成分測定用熱線風向計の検定曲線
(曲線のわきに記してある値は風速を表わす)

垂直面内の風向 ($\pm \theta$) と記録紙上の変位との関係を表わす検定曲線は Fig. III-13 に示すようになっている。

而して、これら5個の Wheatstone Bridge の電源としては、6 Volt, 80AH の蓄電池2個を Parallel に使い、この電源を Fig. III-9 に示す如く、5, 10, 10 Ω の3個の Variohm を用いて3つにわけ、水平風速測定用の Bridge には 4.0 Volt を、 u 測定用の Bridge には 4.5 Volt (途中で熱線が切れたので、その後は水平風速測定用の Element を使い、電圧は 3.5 Volt に調整した)、 θ 測定用の Bridge には 4.0 Volt を供給した。

3. 微風用風向計

これは Fig. III-14 に示す如く一点で支えられた自由に動く約 15 cm のアルミニウムパイプ (太さ約 2 mm) の先きにピンポンの球を受風体として取付け、下部を Damping oil の中に入れたものである。これは非常に弱い風 (風速数 10cm/sec で作動する) でもピンポン球の軸がかたむいてこの軸の下方にある Ring がそれを取りかこむ 16 に分割された接点のいずれか一つに接触して回路が形成され、風向の変化を 16 方

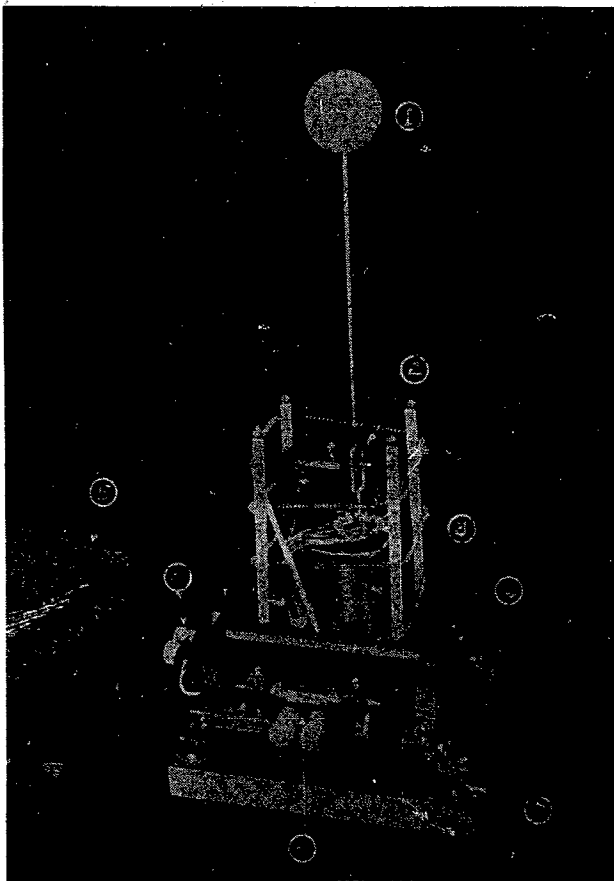


Fig. III-14 微風用風向計 (下図)
① ピンポン球 ② ピボット (ここを支点として自由に動く) ③ 16個の接点 ④ この中にダンピングオイルが入っている ⑤ 抵抗箱 ⑥ 水銀水準器 ⑦ 調整ネジ (4本の支柱にまいてあるニクロム線は、防寒用のヒーター)

位にわけて電氣的に測定出来るようにしたものである。記録には電磁オツシログラフを用い、使用振動子は H-type である。

観測に際しては移動観測檣に 3 個の風向計を § III で述べた水平風速測定用の熱線風速計と同じ高さに取り付けるのであるが、観測に先き立って、風向計を水平な台の上におき、ピンポン球の軸が垂直になった場合互に直角に取り付けた水銀水準器がいずれも水平の位置を保つように水準器のネジを調整した上で檣に取り付け、更に今度は風向計台の調節ネジを調整して檣上でも水銀水準器が水平の位置を保つようににする。而してこのように調整された時には、2 個の水銀水準器を Series に含む回路が閉じて、パイロットランプがついている状態になっているので地上で作動状態の可否が監視出来る。

これらの風速並びに風向の記録に用いた電磁オツシ

ログラフは 6-element, 3-element 各 1 台で、3-element は微風用風向計専用にし、観測には 2 台を同時に働かせ、5sec 毎に同時に Time mark を入れた。

§ III-4 測定の記録とその解析

前述の観測装置による観測記録の一例を示すと Fig. III-15, Fig. III-16 のようになっている。前者は熱線風速計並びに熱線風向計の記録で、後者は微風用風向計の記録である。この記録から水平方向の平均風速、垂直流、あるいは拡散係数などを求めるには、これがある時間間隔で細分し各時刻における Zero-line からの変位を読み取って、これを風速になおさなければならないわけであるが、実際にはあらかじめ変位と風速との関係から作った風速目盛の Scale によって記録から直接風速を読み取った。但し、垂直成分を出すには風向の変化を一応普通の Scale で読み取って Fig. III-13 に示した検定曲線を用いて変位を角度になおし、

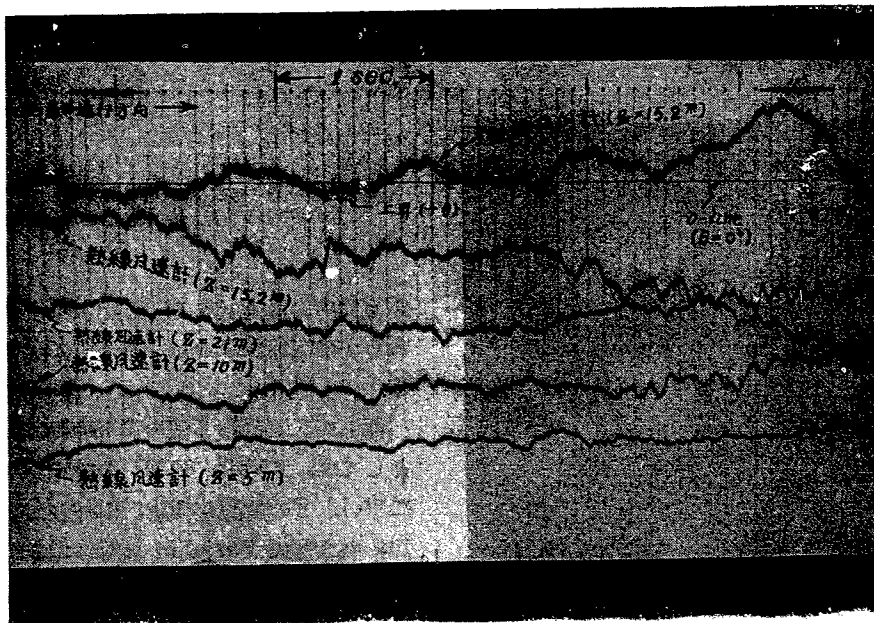


Fig. III-15 熱線風速計による風速並びに熱線風向計による θ の記録の一例 (z の値は風速計の高さを表わす)

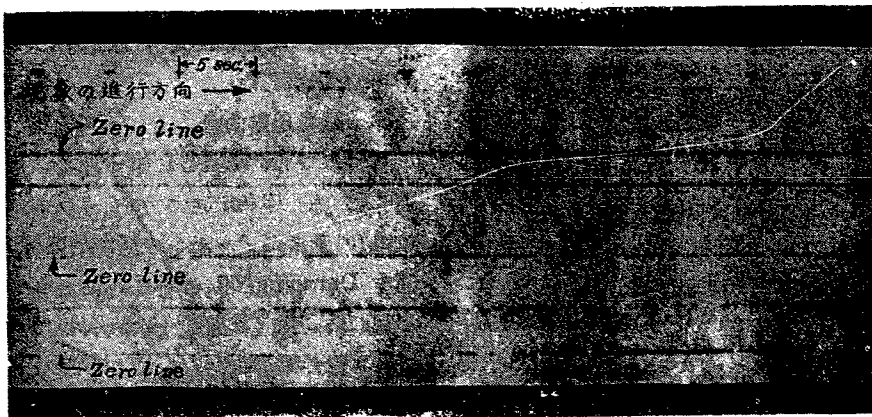


Fig. III-16 微風用風向計による風向の記録の一例 (右端の↑は各風向計の変化する方向)

あとは $w = u \sin \theta$ の関係によって w を求めた。

微風用風向計の記録は、前と同様にある時間間隔で細分し、あらかじめ用意した風向目盛の Scale で各時刻における風向を読み取った。

記録を整理するにあたり、Bromide Paper の送りをおそくした場合 (8mm/sec) については各観測地点について 5 min 間の観測時間を取り、細分する時間間隔を 1 sec とし、送りを早くした場合 (37 mm/sec) には 30sec 間の観測時間を取り、これを 0.1 sec 間隔で細分した。風向に関してはあまり短い時間の変化は求められないので、いずれの場合についても 1 sec 間隔で読み取った。

平均風速を求めるためには、合理的な最小の観測時間としてその高さにおける最大渦が約10個位観測される程度の観測時間をとるべきである (E. Inoue)²⁰⁾ といわれているが、この考えに従うとすれば、平均風速が 1 m/sec 程度の場合に高さ 6 m では最小 10min 間の観測時間をとらなければならない (風速が大きければ大きい程観測時間は短くてすむ) ことになるが、ここでは、平均風速を 1 m/sec とし対象とする敷地が大体含まれる程度の空間 Scale (300 m) を考えて一応 5min. 間の観測時間をとった。従って、平均風速を求めるにすれば観測時間があるいは小さかったかも知れないが、林内などにおいては存在する最大渦もそれ程大きくはないと考えられるので一応この程度の観測時間にとどめた。

尚、使用した白金線は太さが 25μ であるので、その時定数は作動温度 250°C 、風速 1 m/sec で 0.02 sec 位であるから、時間間隔 0.1sec で読み取れば 0.1sec 以上の週期の変動は先づ取り出せると考えられる。

以上のような操作を行って求めた結果について以下逐次述べていくことにする。

1. 換気時間

先づ初めに換気時間について述べる。今回の観測の一つの目的であるところの林内あるいは林内開地におけるガスの滞留時間 (あるいは換気時間) は、対象とする地域の平均風速の垂直並びに水平分布を出来るだけ細かく測定して、この地域内の平均風速の空間分布が細かくわかり、且つ摩擦速度 (これは平均風速の高度分布より求められる) がわかればよいわけである。そしてこの空間分布をある決められた基準地点における一定高度の大体同じ時刻の風向並びに平均風速を標準にして表わしておけば、この基準地点における観測から各地域の風向並びに平均風速がわかりその時々各地域内の空気の平均換気時間の見当がつくことになる。

また各地点の平均風速の高度分布から摩擦速度 U_* を出しこれを用いて換気時間を求めれば、これは実用上の最大の換気時間と考えてもよいように思われる。

今回の観測では測定技術上色々の点で制限されて、林内の平均風速も一点の観測を以て代表させたので、可成り不十分ではあるが、次にその二三の例について述べ将来の参考に供する。

先づ初めに今回観測した各観測地点における風向、平均風速を 25m の固定観測櫓の頂上 30.7m の高さに取付けた Aerovane の自記録より求めた結果を標準にして表わすと TABLE III-1 のようになっている。

TABLE III-1 高さ 30.7m の平均風速を基準にした場合の各観測地点の平均風速の比較

観測地点	高さ(Z) (m)	平均風速 U m/s	平均風速 $U_{20.7}$ m/s	$U/U_{20.7}$	平均値	風向 (高さ = 3.85m)	風向 (高さ = 30.7m)
①	1.7	1.13	4.0	0.28	0.53	SE	ESE
	3.85	3.13		0.78			
	5.4	2.05		0.51			
	5.8	2.12		0.53			
②	1.7	0.59	2.0	0.29	3.38	ENE	N
	3.85	1.10		0.55			
	5.4	0.72		0.36			
	5.9	0.61		0.31			
③	1.9	1.00	8.0	0.12	0.13	NNE	NNE
	3.85	1.26		0.16			
	5.65	1.01		0.13			
	5.7	1.03		0.13			
④	1.9	1.00	3.0	0.30	0.44	NE	E
	3.85	1.50		0.50			
	5.65	1.42		0.47			
	5.7	1.50		0.50			
⑤	1.9	0.60	4.0	0.15	0.21	NNE	NE
	3.85	0.99		0.25			
	5.65	0.84		0.21			
	5.7	0.95		0.24			
⑥	5	0.84	3.6	0.23	0.31	NNW (高さ 5 m におけ る風向)	NNE
	10	1.13		0.31			
	15.2	1.07		0.30			
	21	1.42		0.39			

註。観測時間は、観測地点② (T=240sec) を除き、他はいずれも T=300sec である。

・平均値とは、 $U/U_{30.7}$ の高さについての平均値の意味である。

・第 7 欄の風向は観測時間中の最多風向を意味し、測定は、微風用風向計による。

・第 8 欄の風向も最多風向を意味し、Aerovane の自記録から読み取ったもの。

・ $U_{30.7}$ は高さ 30.7m における平均風速を意味する。

この表からして、基準地点からみた各観測地点の風向の相違並びに平均風速の減少の程度が大体わかり、例えば林内においてはその平均風速 (平均風速を更に高さについて平均したもの) が基準地点における平均風速の 13~21 % 程度に減少し、林内開地においては 44% 程度であり、この両者を比較すると、林内では林内開地よりも風速が更にその半分に減少するというこ

となる。しかし、未だ観測が少な過ぎるのではっきりしたことはわからない。

次に二三の例について平均換気時間あるいは最大換気時間を求めてみると、

i) 2月4日の例

この日の観測は観測地点③、即ち林内において行われたものである。而してこの観測の行われた時の条件は TABLE III-1 の観測地点③に示してある通りであるが、林内の 3.85 m の高さで微風用風向計によって観測した風向の頻度分布は Fig. III-17 に示す如くで最多風向は NNE であった。この場合 TABLE III-1 からわかる通り、林内の 2~6 m の層においては平均風速は高さによってあまり変化せず殆んど一様になっている。これは林内においては立木の影響を受けて上

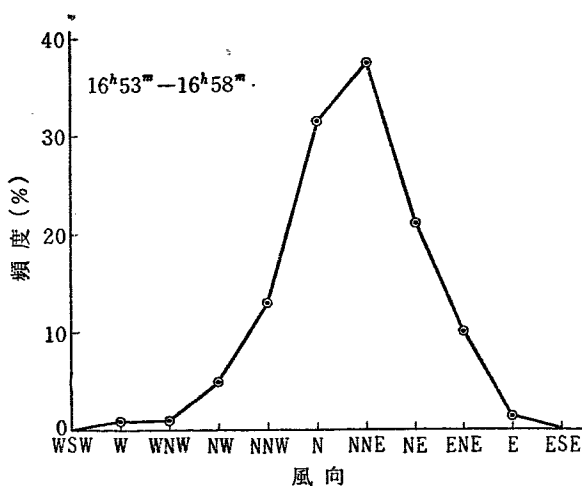


Fig. III-17 風向の頻度分布 (1957年2月4日)
観測地点: ③ 風向計の高さ: 3.85 m

下方向の運動量の交換がはげしく行われ、その結果上下方向に風速が一様になったものと考えられる。しかし地面に極く近いところでは勿論地面摩擦のため風速が小さくなっていると思われるが、1.9 m 以下の高さの測定値がないので、摩擦速度 U_* の値が求まらずはっきりわからない。ここでは一応 1.9, 3.85, 5.7 m の高さの平均風速を更に高さについて平均した風速 106 cm/sec を以て地上 6 m までの層の平均風速とし、この観測地点を取りかこむ林内の地上 6 m までの層の空気平均換気時間を求めてみる。

林内では風は大体 NNE より SSW に向かって吹きぬけるものとして、風路にあたる方向の林の長さを図上で求めると約 120 m あるから、林内の空気は平均して 113 sec 即ち約 2 min 経ればある程度換気されると考えられる。しかしこれはあくまで平均値であって、地面近くでは風速も小さく、且つ拡散係数も小さいので、林内の空気が完全に換気されるためにはこれより

も多くの時間がかかることになるが、煙の Source が高いところにあってそこから流れてきた煙が林内に入る場合には、地面に達したものの濃度はそれほど濃くはないと考えられるから、この例に示した程度の林では、このような条件のもとでは、大体 10 数 min の Order で換気されるものと思われる。次に一応考えておかなければならないのは、問題にしている層の上面並びに側面を通して吸出あるいは吸入される空気量であるが、この観測では高さ 5.65 m において 4 cm/sec の下降流が観測され、地上 6 m までの層内に上方から空気が流れ込んでいることになるが、これは一点の観測であって局所的な影響を強く受けている可能性があり、これを全般的に適応させていいかどうかははっきりしないので、上下方向の出入は考えに入れなかった。

ii) 2月5日の例

この日の観測は観測地点④、即ち林内開地で行われたものである。而してこの観測の行われた時の条件は TABLE III-1 の観測地点④に示してある通りであるが、微風用風向計で観測した高さ 3.85 m における風向の頻度分布は Fig. III-18 に示す如くで最多風向は NE であった。この場合、平均風速の高度分布を調べてみると近似的に

$$U = \frac{U_*}{k} \log \left(\frac{z}{z_0} \right)$$

なる対数法則で表わせ (ここに U_* = 摩擦速度, $k = 0.4$ Karmann's constant, z_0 = roughness parameter) 実測結果から z_0 を求めると $z_0 = 17$ cm となり、従って摩擦速度として $U_* = 17$ cm/sec なる値が得られる。而してこの林内開地では U_* によって最大換気時間が決ってくると考え、この地域の NE から SW に至る最長距離を約 200 m とすれば 1177 sec (約 20 min) 経過すれば殆んど換気されてしまうと考えられる。一方、前の場合と同様にして平均換気時間を求めると、地上 6 m までの層については平均風速が 136 cm/sec であるから 147 sec になり、 U_* を用いて求めた最大換気時間の約 1/8 にあたる。

換気時間を求める場合にここで考えなければならないことは、対象とするガス (あるいは煙) の Source が地面にある場合と地面から離れて高いところにある場合とは異なってくるということである。例えば、煙突から出る煙などは、Source が既に地面近くよりはるかに大きな拡散係数をもった乱流場内にあるので、地面に到達するまでにある程度うすめられており又地面に近いほど拡散係数が小さいから一般に地面に

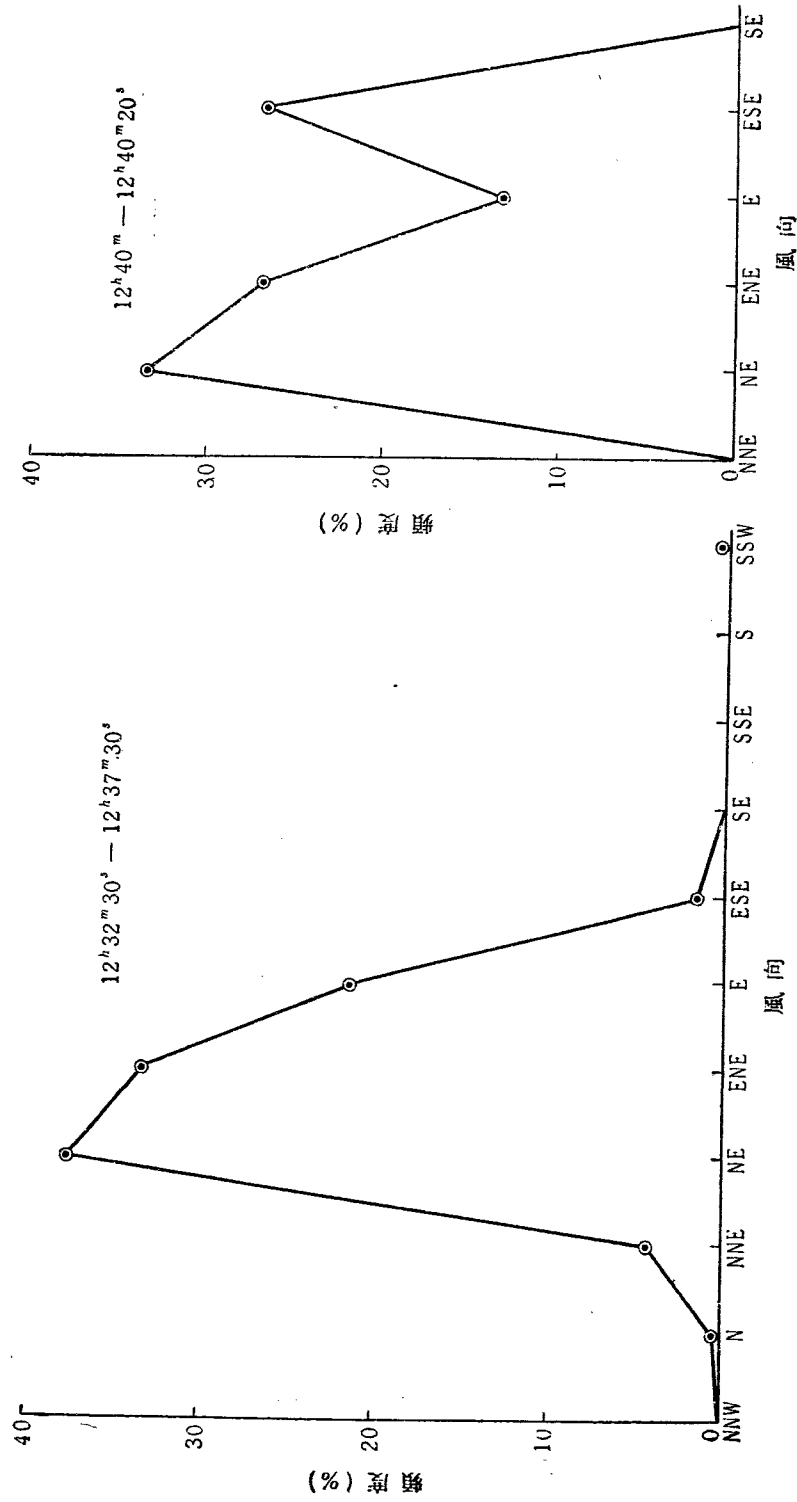


Fig. III-18 風向の頻度分布 (1957年2月5日, 観測地点: ④風向計の高さ: 3.85m)

到達しにくくなる。しかるに一方、地面に Source がある場合は Source のある場所の拡散係数が相対的に非常に小さいので、初めのうちは逆にそれほど拡散されず、地面に近いところの煙は殆んど地面をはうようにして主流に流され、この場合は摩擦速度 U_* が支配的となる。従って同じ林の中においても Source の高さによって換気時間が異なり、Source の位置が高い程換気時間は短くなると考えられる。しかし、Source が高いところにあっても拡散は一樣に行われるわけではなく気塊の動き方如何によってはある程度まとまって地面におりてくる場合があるので、次に拡散の不均一性が問題になるが、この拡散のむらの問題に関しては別に述べてある。(第 IV 章参照)

2. 拡散係数

この観測の第二の目的である拡散係数について述べる。拡散の状態を知るためには理論的には Lagrange 相関係数を求めればよいわけであるが、実際問題としてこの相関係数を求めることは非常に困難であり、又拡散係数を実験的に求める方法としては、例えば Th. Hesselberg の方法などがあるが、これとてもあまり満足なものとはいえない。そこで、ここでは次に述べるような風速の変動より求める方法をとった。(風速の変動を用いることにおいては Th. Hesselberg と同じであるが)。

即ち、大気乱流場は平均流とそれに重ね合された色々の大きさとそれに対応する色々の速度を持った空気塊(ここではこれを渦とよんでいる)とからなると考え、乱流場内における拡散はこれらの渦の運動によって行われるものとする。今、平均流の方向を x とし、 x 方向の渦動拡散係数(あるいは単に拡散係数という)を K_x とし、平均流を差引いた各気塊の平均速度の x 成分を $\overline{du}$ とし、気塊の x 方向の平均の大きさを $\overline{L}$ とすれば、拡散係数 K_x は

$$K_x = \frac{\pi}{4} \cdot \overline{du} \cdot \overline{L} \quad (\text{III-1})$$

によって表わされる。この関係式は Y. Takahashi が拡散量なる考えから導いた関係式で一つの近似式であって、実際の拡散係数は一般にこれより多少は大きくなると思われるが、先づ大体においてこの程度の値になると考えられる。

上述の関係式によって拡散係数を求めるには、オシログラフによる風速変動の記録についてある観測時間 T を決めてこの T 時間に対する平均風速 U_T を求め、各時刻における風速の U_T からの偏差を求め、これの平均をとって $\langle |du| \rangle_T$ ($\langle \rangle_T$ は $|du|$ の

観測時間 T についての平均を意味する)を求める。次に同じ T 時間における $+$ および $-$ の偏差の部分を数え、その個数を $(n_x)_T$ とすれば、これは T 時間に風速計を通過した渦の個数になるから、従って T 時間についての渦の平均の大きさ $(\overline{L}_x)_T$ は

$$(\overline{L}_x)_T = U_T \cdot \frac{T}{(n_x)_T} \quad (\text{III-2})$$

より求めることが出来、従って拡散係数 K_x は、この $\langle |du| \rangle_T$ と $(\overline{L}_x)_T$ を用いて (III-1) 式から

$$K_x = \frac{\pi}{4} \langle |du| \rangle_T \cdot (\overline{L}_x)_T \quad (\text{III-3})$$

によって求めることができる。而してこの関係は垂直方向 (z 方向) についても成り立つと考えられる。しかし、ここで注意しなければならないことは、前述の K_x は厳密な意味での x 方向(平均流の方向)の拡散係数ではないということである。というのは、今回の観測によって得られた渦の平均の速度 $\langle |du| \rangle_T$ は実は一本の熱線による測定であるため x 方向の成分と y 方向(平均流に直角な方向)の成分の合成されたものであって x 成分そのものではないからである。しかし、ここではこれを一応 x 成分と考えて近似的に取り扱った。

而して、今任意にある一定の観測時間 T をとった場

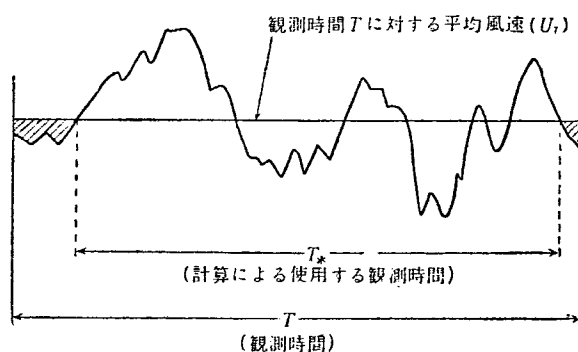


Fig. III-19 観測時間と平均風速

合 Fig. III-19 の如く一般にその両端で偏差 du が 0 にならない、従って計算上の観測時間としては T の代りに両端で du が 0 になるような時間 T_* をとり、この T_* 時間における $+$ および $-$ の偏差の部分を数えた。しかし平均風速としては T 時間についての平均風速 U_T を用いた。

又、渦の平均の大きさを求める場合 (III-2) 式では $U_T \geq |du|$ として、唯だ単に平均風速 U_T に渦の平均通過時間 $T_*/(n_x)_{T*}$ を掛けただけであるが(実用上はこれで差支えない)、もっと厳密に渦の大きさを出すためには渦の速度も考えに入れなければならない。今、各階級の渦の x 方向の大きさを $l_0, l_1, l_2, \dots, l_n$

TABLE III-2 渦動拡散係数の計算表

(水平成分)

Bromide Paper No.	観測地点	観測時刻	風速計の高さ z (m)	平均風速 U_T (cm/sec)	観測時間		$\langle \Delta u \rangle_{T*}$ (cm/sec)	$(n_x)_{T*}$	$T_*/(n_x)_{T*}$ (sec)	$(L_x)_T$ (cm)	$(\Delta L_x)_{T*}$ (cm)	$\langle L_x \rangle_T$ (cm)	K_x (cm ² /sec)
					T (sec)	T* (sec)							
06	①	2月2日	1.7	113	300	290.85	37	63	4.61	521	10	531	1.5×10^4
		13h47m~	3.85	313	300	291.19	120	61	4.77	1500	39	1539	1.5×10^5
		13h52m	5.4	205	300	297.00	39	52	5.70	1170	-1	1169	3.6×10^4
			5.9	212	300	296.65	62	54	5.50	1160	1	1160	5.6×10^4
61	②	2月3日	1.7	59	240	216.66	12	33	6.57	388	3	392	3.7×10^3
		11h27m~	3.85	110	240	236.65	22	34	6.96	766	0	766	1.3×10^4
		11h31m	5.4	72	240	177.10	16	28	6.32	506	15	470	5.9×10^3
			5.9	61	240	232.25	17	28	8.30	455	5	511	6.8×10^3
64	③	2月4日	1.9	94	300	292.45	41	58	5.05	474	7	481	1.5×10^4
		16h53m~	3.85	126	300	287.10	49	66	4.34	548	14	562	2.2×10^4
		16h58m	5.65	101	300	282.99	37	76	3.72	376	10	386	1.1×10^4
			5.7	103	300	289.45	29	66	4.38	451	1	452	1.0×10^4
67	④	2月5日	1.9	100	300	291.88	22	59	4.95	495	-16	479	8.3×10^3
		12h32m30s~	3.85	150	300	291.00	27	85	3.42	514	-5	509	1.1×10^4
		12h37m30s	5.65	142	300	285.70	30	61	4.68	665	-15	650	1.5×10^4
			5.7	150	300	293.00	17	74	3.96	594	-8	586	7.8×10^3
83	⑤	2月5日	1.9	60	300	278.33	14	64	4.35	261	-1	260	2.9×10^3
		17h04m~	3.85	99	300	290.58	16	53	5.48	542	0	542	6.8×10^5
		17h09m	5.65	84	300	291.55	20	61	4.94	415	-6	409	6.4×10^3
			5.7	95	300	293.29	17	53	5.53	526	0	526	7.0×10^3
85	⑥	2月6日	5	84	300	274.40	22	59	4.65	391	13	404	7.0×10^3
		15h16m~	10	113	300	296.55	29	81	3.66	414	2	416	9.5×10^3
		15h21m	15.2	107	300	243.56	40	52	4.68	501	-10	491	1.5×10^4
			21	142	300	249.07	26	43	5.80	824	-4	820	1.0×10^4

(垂直成分)

Bromide Paper No.	観測地点	観測時刻	風速計の高さ z (m)	平均風速 W_T (cm/sec)	観測時間		$\langle \Delta w \rangle_{T*}$ (cm/sec)	$(n_z)_{T*}$	$T_*/(n_z)_{T*}$ (sec)	$(L_z)_T$ (cm)	$(\Delta L_z)_{T*}$ (cm)	$\langle L_z \rangle_T$ (cm)	K_z (cm ² /sec)
					T (sec)	T* (sec)							
06	①	2月2日 13h47m~ 13h52m	5.4	+1	300	298.94	17	79	3.79	4	0	4	5.3×10
61	②	2月3日 11h27m~ 11h31m	5.4	-14	240	222.75	8	64	3.49	49	1	50	3.1×10^2
64	③	2月4日 16h53m~ 16h58m	5.65	-4	300	284.73	21	77	3.70	15	5	20	3.3×10^2
67	④	2月5日 12h32m30s~ 12h37m30s	5.65	-11	300	280.94	11	80	3.51	39	5	44	3.8×10^2
83	⑤	2月5日 17h04m~ 17h09m	5.65	-3	300	294.13	9	85	3.46	10	0	10	7.1×10
85	⑥	2月6日 15h16m~ 15h21m	15.2	+13	300	273.29	17	71	3.85	50	0	50	6.7×10^2

として、これに対応する渦の x 方向の速度を $u_0, u_1, u_2, \dots, u_n$, その通過時間を夫々 $\tau_0, \tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n$ とすれば、各階級の渦の大きさは

$$l_0 = (U_T + u_0) \tau_0$$

$$l_1 = (U_T + u_1) \tau_1$$

$$l_2 = (U_T + u_2) \tau_2$$

$$\dots\dots\dots$$

$$l_n = (U_T + u_n) \tau_n$$

となり、従って渦の速度を考えに入れた場合の渦の平

均の大きさを $\langle L_x \rangle_T$ とすれば

$$\begin{aligned} \langle L_x \rangle_T &= \frac{l_0 + l_1 + l_2 + \dots + l_n}{(n_x)_{T*}} \\ &= \frac{U_T (\tau_0 + \tau_1 + \tau_2 + \dots + \tau_n)}{(n_x)_{T*}} \\ &\quad + \frac{u_0 \tau_0 + u_1 \tau_1 + u_2 \tau_2 + \dots + u_n \tau_n}{(n_x)_{T*}} \\ &= U_T \cdot \frac{T_*}{(n_x)_{T*}} + \Delta L_x \end{aligned} \quad (\text{III-4})$$

となる。ここに

$$\Delta L_x = \frac{u_0 \tau_0 + u_1 \tau_1 + u_2 \tau_2 + \dots + u_n \tau_n}{(n_x) T_x}$$

である。而して ΔL_x は渦の速度を考慮した場合の渦の大きさに対する補正で、水平方向の大きさについてはわずかであるが、垂直方向の大きさについては相対的にかなり大きな影響をおよぼす。

各観測地点において夫々の高さについて今までに述べたような操作を行って求めた平均風速、平均偏差、渦の平均の通過時間、渦の平均の大きさ、拡散係数などをまとめて TABLE III-2 にあげた。TABLE III-2 の最初の表は水平成分についてのものであり、後のものは垂直成分に関するものである。

3. 垂直流

先づ TABLE III-2 のあとの表にあげてある垂直流についてみると、各観測地点において多少違っているが、今回の観測においては、上下方向の符号（+は上昇流を-は下降流を表わす）を別にして 5 min間の平均値は、最小 1 cm/sec から最大 14 cm/sec であってそれほど大きな垂直流は観測されなかった。

而して観測地点⑥、即ち 25m の櫓の 15.2m の高さ（樹冠部にあたる）における 13cm/sec の上昇流を除いては、他は殆んど下降流であり、殊に観測地点②（この場合のみ観測時間は 4 min）においては 14cm/sec という下降流を観測したが、これは風下側がすぐ松林になっている上に約 3 m位地面が低くなっているため地形的な影響によるものと思われる。

尚、林のすぐうしろの樹冠部附近の高さにおける気塊の垂直方向の大きさを知るために観測地点⑥の 15.2 m の高さにおいて 11 min の観測時間内に観測された上下方向への気塊の通過時間の頻度分布をとってみると Fig. III-20 の如くになっている。これからすると樹冠部附近の高さにおいては気塊の垂直方向の最大の

大きさは大体において 2 m位にしかならないことがわかる。従って附近に障害物がない場合の大気中における垂直方向の最大気塊の大きさは大体において高さと同じ程度の大きさであるという従来の結果からすると樹冠部附近においては松林の影響を強く受けていることがわかる。

4. 水平方向の拡散係数と垂直方向の拡散係数の比較

拡散係数は、前に述べた如く、平均風速、観測時間、高さ、気層の安定度、地表面の粗さなどによって異なるうえに更に今回の観測の如く附近に障害物が沢山ある場合は観測する場所によっても異なってくる。これらのことについてはのち程述べることにして、ここでは観測時間 5 min 間の拡散係数について水平方向と垂直方向の比較を行ってみると、平均風速 60 cm/sec ~ 300cm/sec の範囲で、水平方向の拡散係数が大体 $10^3 \sim 10^5 \text{ cm}^2/\text{sec}$ の Order であるのに、垂直方向の拡散係数は大体 $10 \sim 10^2 \text{ cm}^2/\text{sec}$ の Order であった。

而して各観測地点について、水平拡散係数と垂直拡散係数との比 K_x/K_z をとってみると TABLE III-3 の如くになっており、この表についてみると、観測地点① (Fig. III-1 に示す如く林のふちにおける観測)

TABLE III-3
水平方向の拡散係数と垂直方向の拡散係数の比較

観測地点	風速計の高さ(z) (m)	平均風速 U_T (cm/sec)	観測時間 T (sec)	K_x/K_z	風向
①	5.4	205	300	680	SE
②	5.4	72	240	190	ENE
③	5.65	101	300	333	NNE
④	5.65	142	300	395	NE
⑤	5.65	84	300	90	NNE
⑥	15.2	107	300	22	NNE

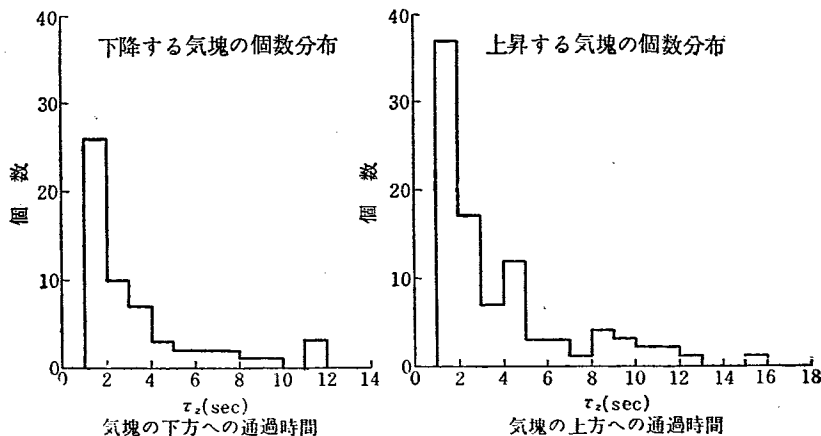


Fig. III-20 気塊の垂直方向の通過時間とその個数との関係
観測地点：⑥ 高さ 15.2 m 観測時刻 2月6日 15h 15m ~ 15h 26m

において比の値が最大になっている。これは風が松林の上を吹いてきていて（風向が SE）水平方向にはかなり大きな渦を観測する可能性があるような状態にあるためであると思われる。一方この比の値が最も小さくなっているのは観測地点⑥の樹冠部附近の観測であり、ここでは樹冠部の直接の影響を受けて水平方向の渦の大きさが垂直方向に比較して相対的にそれほど大きくはならないためであろうと考えられる。又林内ではやはり立木などの影響のために林外の観測に比較して比の値が小さくなっている（例えば観測地点 ⑤）。

尚、今回は一方において煙の濃度分布を測定して、O. G. Sutton の結果から拡散係数を求める方法（気象庁観測部）も行われたが、この煙の観測から求めた 30 min の観測時間にもとづく結果と今までに述べた風速変動の記録から 5 min 間の観測時間をとって求めた拡散係数とが非常によく一致している場合があったが、これは Fig. III-21 に示す如く 2 min 以上の観測時間をとると拡散係数は観測時間によって殆んど変化せず一定の値をとるようになるので、5 min 間の観測から求めた結果も 30 min 間の観測から求めた結果も殆んど変らないものと考えられる。

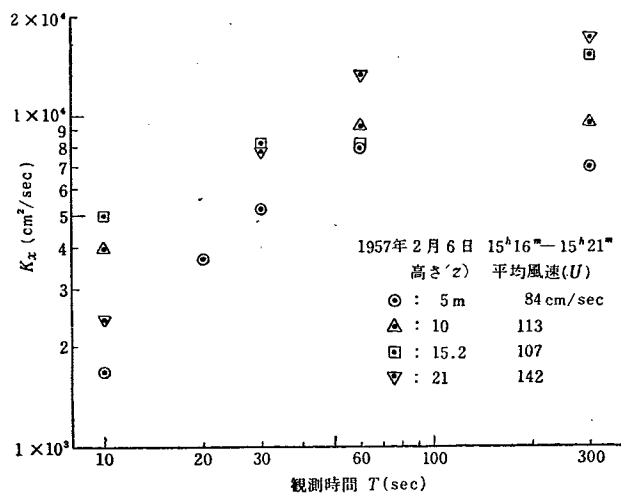


Fig. III-21 水平拡散係数 (K_x) の観測時間 (T) による変化の一例 (観測地点: ⑥, 25m 樹)

このことに関しては J. Sakagami (1954)²²⁾ が数分以上の観測時間のもとでは拡散係数が一定であるという実験結果を出し、又 E. Inoue (1952)²³⁾ および、Y. Ogura (1952)²⁴⁾ は「観測時間が最大乱子（ここでいう最大渦）の寿命時間より十分大きければ、もはや拡散角度も拡散係数も観測時間には無関係な一定値におちつく」という結果を出し、一方 O. G. Sutton (1953)²⁵⁾ も経験的に地面近くの煙の拡散角度が最初の 2 min 位までは観測時間と共に増加するが、観測時間

が 3 min 以上になると一定の値におちつくと述べている。従ってこれらのことを考え合えると今回の観測で互に異った方法で求めた両者の結果が一致したということは当然のことと考えられ、林内及びその周辺の拡散を対象とする限りある程度長い時間にわたる拡散に関しても水平方向に対しては数 min（あるいは少し多くみて 10min）程度、垂直方向に対しては 1 min 程度の観測時間について求めた拡散係数の値を用いれば実用上差仕えないと思われる。しかしここで注意しなければならないことは前述の J. Sakagami 等の結果はいずれも垂直方向あるいは主流に直角な水平方向（所謂横方向）の拡散に関するもので主流の方向（所謂縦方向）における拡散係数（ここでいう水平方向の拡散係数）は一般にこれよりもずっと長い観測時間をとらなければ一定値におちつかないということである。今回の観測において水平方向の拡散係数がかなり短時間で一定値におちついたということは、林内あるいは林内開地のようにまわりに障害物が沢山ある特別な状態の場合においては存在する最大渦の水平方向の大きさが比較的小さく且つ寿命時間も小さいからであると思われる。

5. 水平方向の拡散係数の高度変化

拡散係数の高度変化は、垂直方向の拡散係数については高さを変えて観測しなかったもので、ここでは水平方向の拡散係数の高度変化だけについて二三の例を述べる。先づ観測地点⑥については Fig. III-22 に示す如くになっている。この観測は松林のすぐうしろで行われたので測定値は多少ばらついているが近似的に直線を引いてみると

$K_x \sim z^{\frac{7}{10}}$ の関係があるように思われる。次にもう一つの例とし

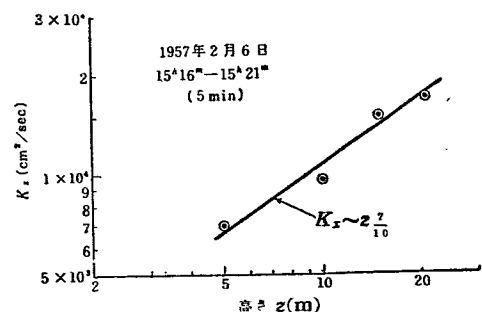
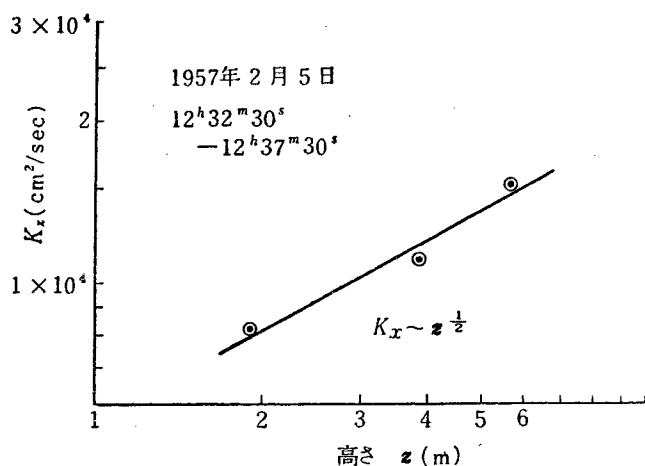


Fig. III-22 水平拡散係数 (K_x) の高度分布 (観測地点: ⑥)

て林内開地（観測地点④）における結果を Fig. III-23 に示した。この場合は近似的に

$K_x \sim z^{\frac{1}{2}}$ の関係が成っているように思われる。しかしいづれ

Fig. III-23 水平拡散係数(K_x)の高度分布(観測地点④)

にしても観測値が少ないので決定的なことはわからず大体の傾向をうかがえる程度に過ぎない。

6. 水平方向の拡散係数と平均風速

観測時間を一定とし、且つ気層の安定度、地面粗度が観測中変化しないものとする、拡散係数は平均風速(U)と高度(z)に関係することになる。しかるに U と z の間には既によく知られている如く対数法則あるいは指数法則が成立つので、 K_x と z の関係がわかっているればこの法則を用いて K_x と U の関係がわかる。今観測地点⑥について $U(z)$ の高度分布を求めてみると Fig. III-24 の如く樹冠部(15.2m)を

除いて近似的に

$$U(z) \sim z^{\frac{1}{3}}$$

なる指数法則が成立つように思われる。従って、既に Fig. III-22 に示した同じ観測地点⑥における K_x と z の関係

$$K_x \sim z^{\frac{7}{10}}$$

から K_x と $U(z)$ との関係として

$$K_x \sim U^{\frac{21}{10}}(z)$$

なる関係が求まる。即ち水平方向の拡散係数 K_x は近似的に風速の2乗に比例すると考えられる。一方 E. Inoue (1955) は周囲の地形の影響によって発生した大規模乱子の拡散係数 K_l は

$$K_l = AB U^2(z)$$

で表わされ、大規模乱子のみに着目すれば拡散係数は風速の2乗に比例するという結果を出している。而し

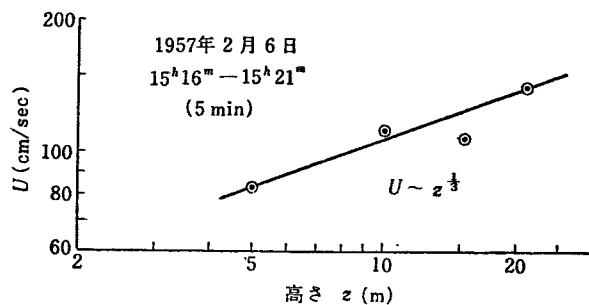
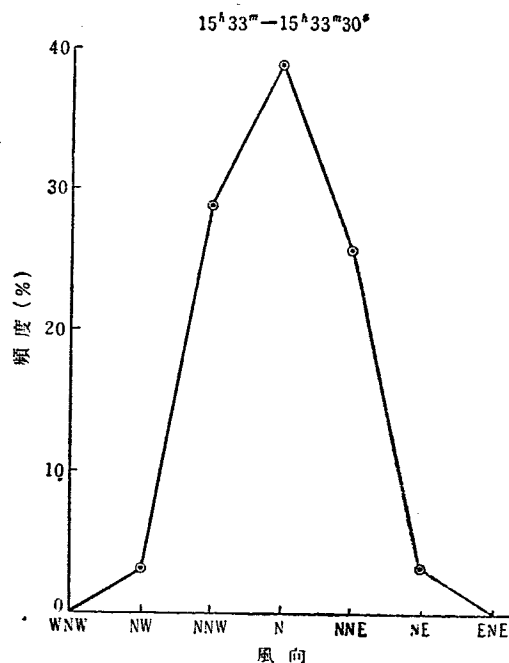
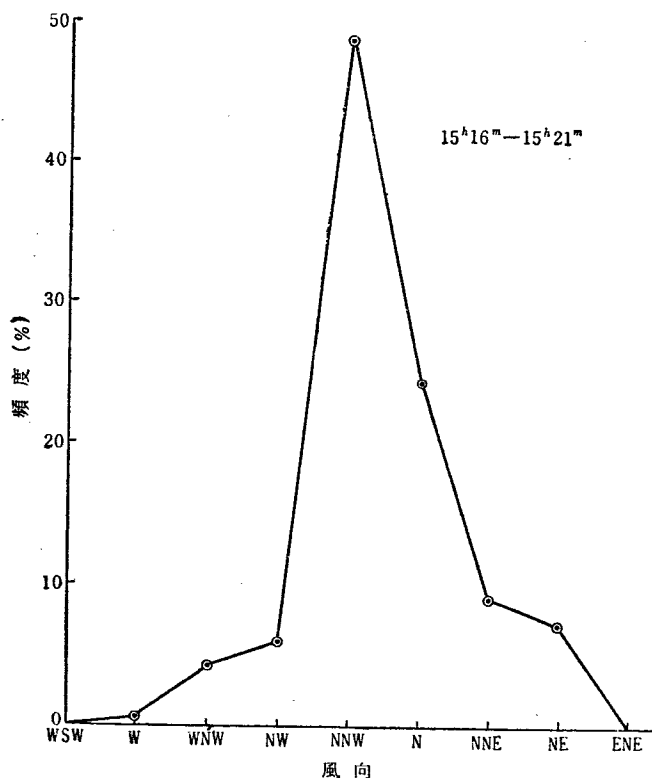
Fig. III-24 平均風速(U)の高度分布(観測地点:⑥)

Fig. III-25 風向の頻度分布(1957年2月6日、観測地点:⑥ 風向計の高さ:5m)

て E. Inoue はこの A 並びに B に関して A は個々の場合に特有な時間であり z には無関係で、周囲の地形の規模等に関係する量で、B も z には無関係な個々の場合に特有な常数で、周囲の地形の抵抗係数等に関係するであろうと述べている。

従って観測地点 ⑥ において得られた結果を前述の Inoue の結果と対比すると、この観測地点における渦はすぐ風上にある松林によって発生したもので Inoue のいう所謂大規模乱子の性質を持つと考えられる。

7. 水平方向の拡散係数と観測時間

観測時間 T を長くすれば拡散係数は既に (§ III-4, 4) において述べた如く一定値に近づくことがわかっているの、ここで問題にするのは T が小さい場合に拡散係数が T のとり方によってどのように変化するかということであるが、これに関連して平均渦の拡散能力並びにこの平均渦の大きさが又 T のとり方によってどのように変るかについても同時に述べる。

観測値を整理するにあたっては既に述べた如く Bro-

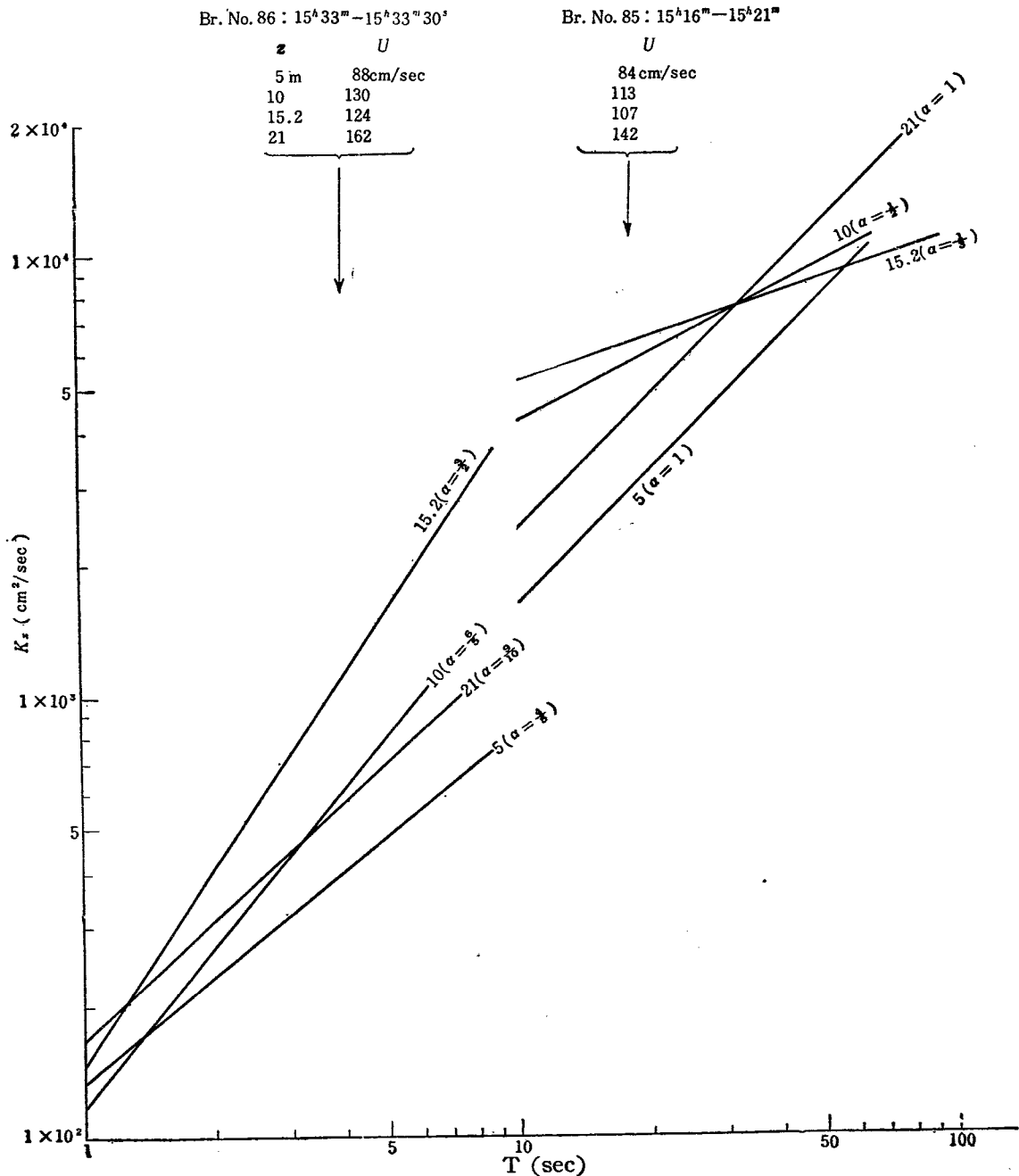


Fig. III-26 水平拡散係数(K_x)と観測時間(T)との関係 (観測地点: ⑥, 1957 年 2 月 6 日)

mime Paper の送りを 8 mm/sec とした場合の記録と送りを 37 mm/sec とした場合の記録とを用い、前者から $T > 10 \text{ sec}$ の T についての拡散係数、後者から $T < 10 \text{ sec}$ の T についての拡散係数の変化を求めた。尚、以下に述べる拡散係数、平均渦の大きさはいずれもある同じ観測時間 T について数個求めたものを平均した値である。

尚、あとで観測場所による相違を相互に比較する必

要上敷地内の代表的な観測場所として、林の周辺（観測地点⑥）、林の内部（観測地点⑤）並びに林内開地（観測地点④）を選び、これらの観測地点の夫々の高さにおける拡散係数、平均渦の T による変化を求めたので、次に各観測地点ごとにその結果を述べる。

i) 観測地点⑥について

この観測地点における 5 m の高さの風向の頻度分布は夫々の観測時刻に対して Fig. III-25 に示す如く

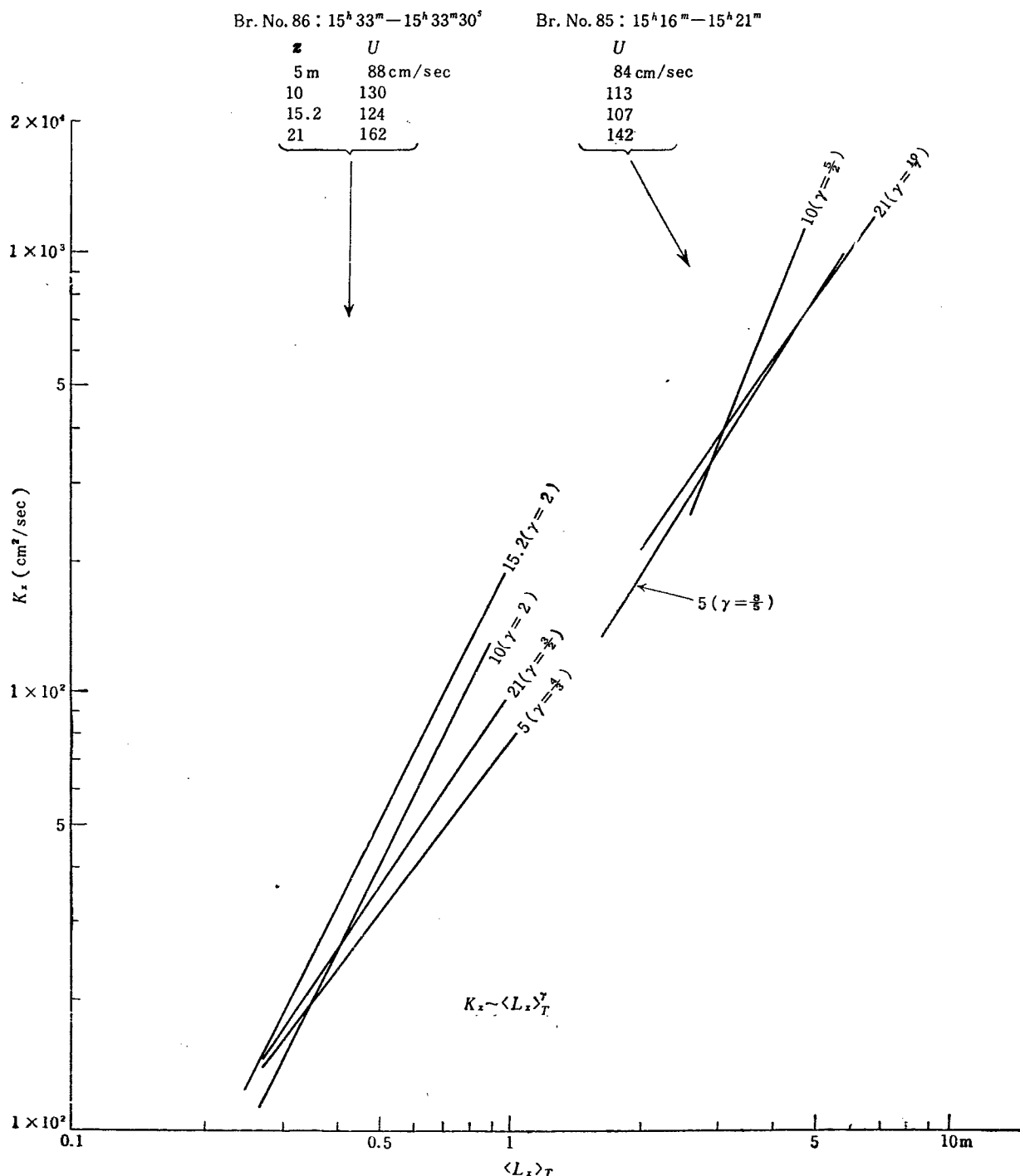


Fig. III-27 水平拡散係数(K_x)と平均渦の大きさ($\langle L_x \rangle_T$)との関係(観測地点:⑥, 1957年2月6日)

で、最多風向はNNW並びにNであり、又高さ30.7mにおいてはNNE (Aerovane の記録から読み取る)であった。

先づ K_x と T との関係は Fig. III-26 に示す如くでこの図の各直線のわきに記してある数字は高さを表わし () 内に記してある α の値はこの直線の傾斜を表わしている。この図をみると $1 \text{ sec} < T < 10 \text{ sec}$ の範

囲については、特に 15.2 m の高さ即ち樹冠部附近において拡散係数が他に比較して大きく且つ α の値も大きくなっているが、 $10 \text{ sec} < T < 100 \text{ sec}$ の範囲においては逆に α の値が他に比較して小さくなり拡散係数の値も最初 $T=30 \text{ sec}$ あたりまでは他に比較して大きい、それ以上の T の値に対しては小さくなっている。又拡散係数の値は前者に比較して小さいが、10m

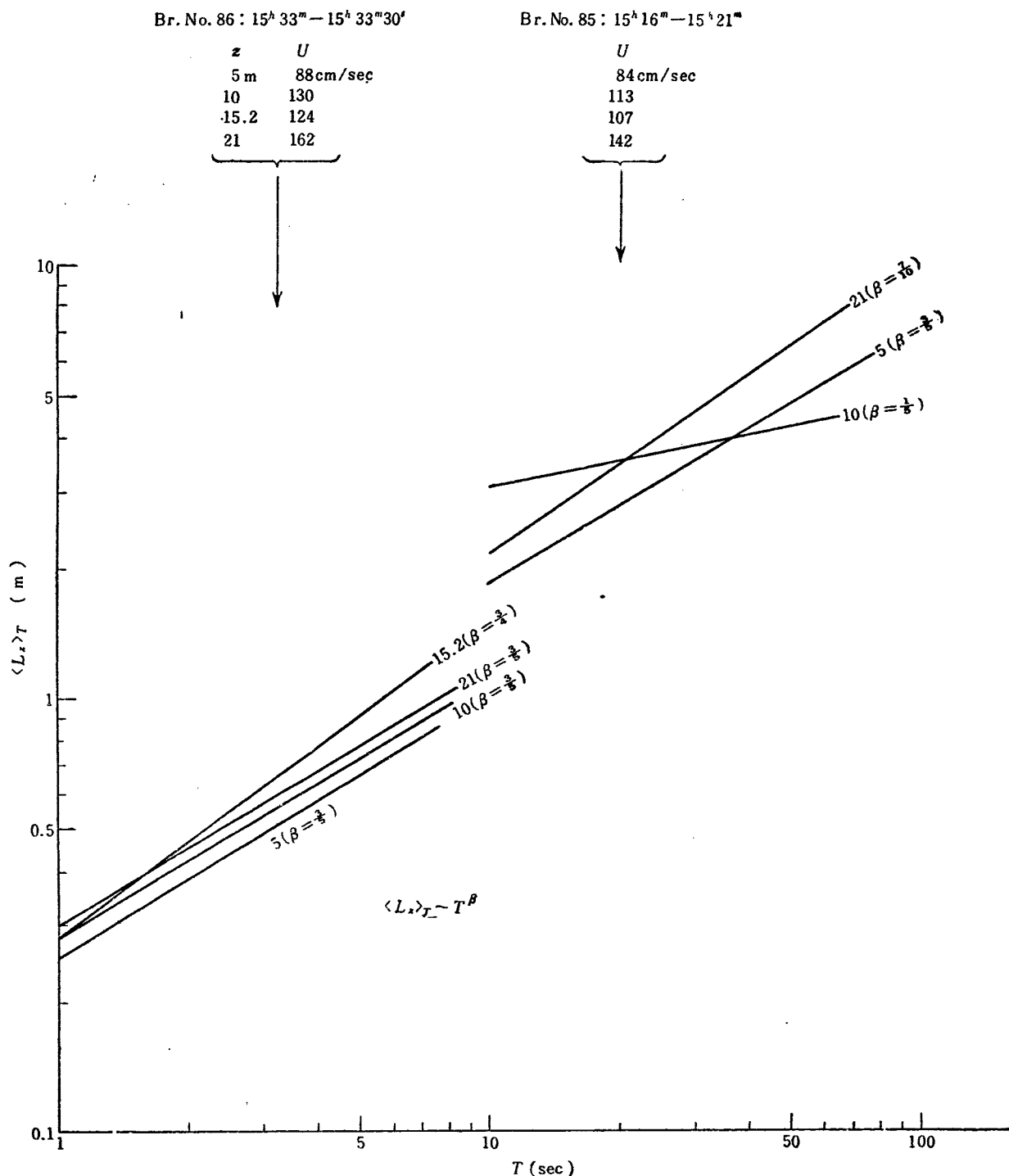


Fig. III-28 平均渦の大きさ ($\langle L_x \rangle_T$) と観測時間 (T) との関係 (観測地点: ⑥, 1957 年 2 月 6 日)

の高さ（丁度松の枝が茂っている部分にあたる）においても大体これと同じ傾向を持ち、 α の値は $1 \text{ sec} < T < 10 \text{ sec}$ の範囲では大きい、 $10 \text{ sec} < T < 100 \text{ sec}$ の範囲では小さくなっている。他の二高度即ち5, 21m においてはいつれの範囲においても大体同じ α の値を持っているが、拡散係数の値は21mの高さの方が大きくなっている。

この現象をもう少し吟味してみるために平均渦の拡散能力を調べたのが Fig. III-27 である。この図をみると $0.4 \text{ m} < (\langle L_x \rangle_T) < 1 \text{ m}$ の範囲においては同じ大きさの平均渦についてみても 15.2, 10 m の高さのものは他の二高度におけるものよりも大体において拡散能力が大きいことがわかる。而して 10 m の高さにおけるものは更に大きな渦（例えば $4 \text{ m} < (\langle L_x \rangle_T) < 5 \text{ m}$ ）についても他より大きな拡散能力を持つという結果になり、これからすると α の値は一見大きくなるように思われるが、次に平均渦の観測時間 T による変化の様態を調べてみると Fig. III-28 に示す如く直線の傾斜即ち β の値が他に比較してずっと小さくなっている。即ちこの高さ（10m）においてはあまり大きな渦は観測されないということになり、たとえ渦自身の持つ拡散能力は大きくても、渦の大きさに制限があって観測時間がある程度長くすると結果的には相対的に拡散係数が小さくなるものと考えられる。尚ここには 15.2 m の高さについての結果があげてないが、傾向は 10m の高さと同様ようであった。（測定値がばらついたので直線を引かなかった）尚又、 $1 \text{ sec} <$

$T < 10 \text{ sec}$ の範囲の $\langle L_x \rangle_T$ と T との関係についてみると、5, 10, 21m の高さにおける β の値はいずれも等しく $3/5$ であるが、15.2m の高さにおいて β はわずかに大きく $3/4$ なる値を示している。

要するに樹冠部附近の乱流場は他とは違った構造を持っているといえる。

ii) 観測地点⑤について

この観測地点における高さ 3.85 m の風向の頻度分布は夫々の観測時刻に対して Fig. III-29 に示す如くで、最多風向は NNE および N であった。而してこの観測地点における拡散係数と観測時間、拡散係数と平均渦の大きさ、平均渦の大きさと観測時間との関係は夫々 Fig. III-30, Fig. III-31, Fig. III-32 に示す如くなっている。この観測は松材の中で行われすぐ近くに松の木があるので観測位置が少し違っても様子はかなり違ってきて現象は非常に複雑である。Fig. III-30 において特に目立つのは、 $1 \text{ sec} < T < 10 \text{ sec}$ の範囲において高さ 3.85 m における直線の傾斜が小さいことと、 $10 \text{ sec} < T < 100 \text{ sec}$ の範囲において 1.9 m の高さで拡散係数の値が他の高さのそれに比較して相対的に小さくなっていることであるが、これはいづれも局所的な地形の影響によるもので、3.85m の高さのものは松の木の枝、1.9 m の高さのものは地面の凹凸並びに高さ 40~50cm 位の草の影響による結果と考えられる。

iii) 観測地点④について

この観測は林内開地で行われたもので、この時の高さ 3.85m における風向の頻度分布は Fig. III-18 に示した如くで、最多風向は NE であった。而してこの観測地点における拡散係数と観測時間、拡散係数と平均渦の大きさ、平均渦の大きさと観測時間の関係は夫々 Fig. III-33, Fig. III-34, Fig. III-35 に示す如くなっている。これらの図をみると、3.85m の高さにおいて特異な現象があらわれているがこれが何に原因するものか今のところわからない。これを別にするとあとは α , β , γ の値が夫々あまり変わらない。これは前述の二観測地点における結果と異っている点である。

8. 観測地点相互の比較

先づ拡散係数と平均渦の大きさとの関係について林内と林外の比較を行ってみると、林内においては γ の値がいつれの高さにおいても林外に比較してずっと大きくなっている。これは林内あるいは林の周辺などにおいて立木の直接の影響によって発生した渦は、等方性乱流場内の同じ大きさの渦に比較してそれ自身大きな Energy を持っており従ってその持つ拡散能力

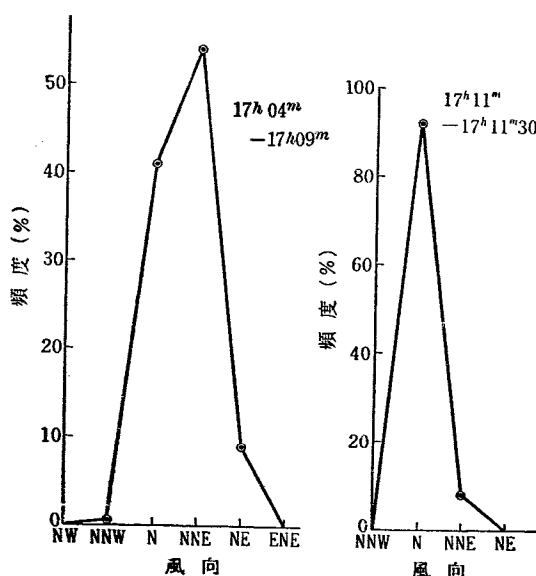


Fig. III-29 風向の頻度分布
(1957年2月5日, 観測地点: ⑤ 風向計の高さ: 3.85 m)

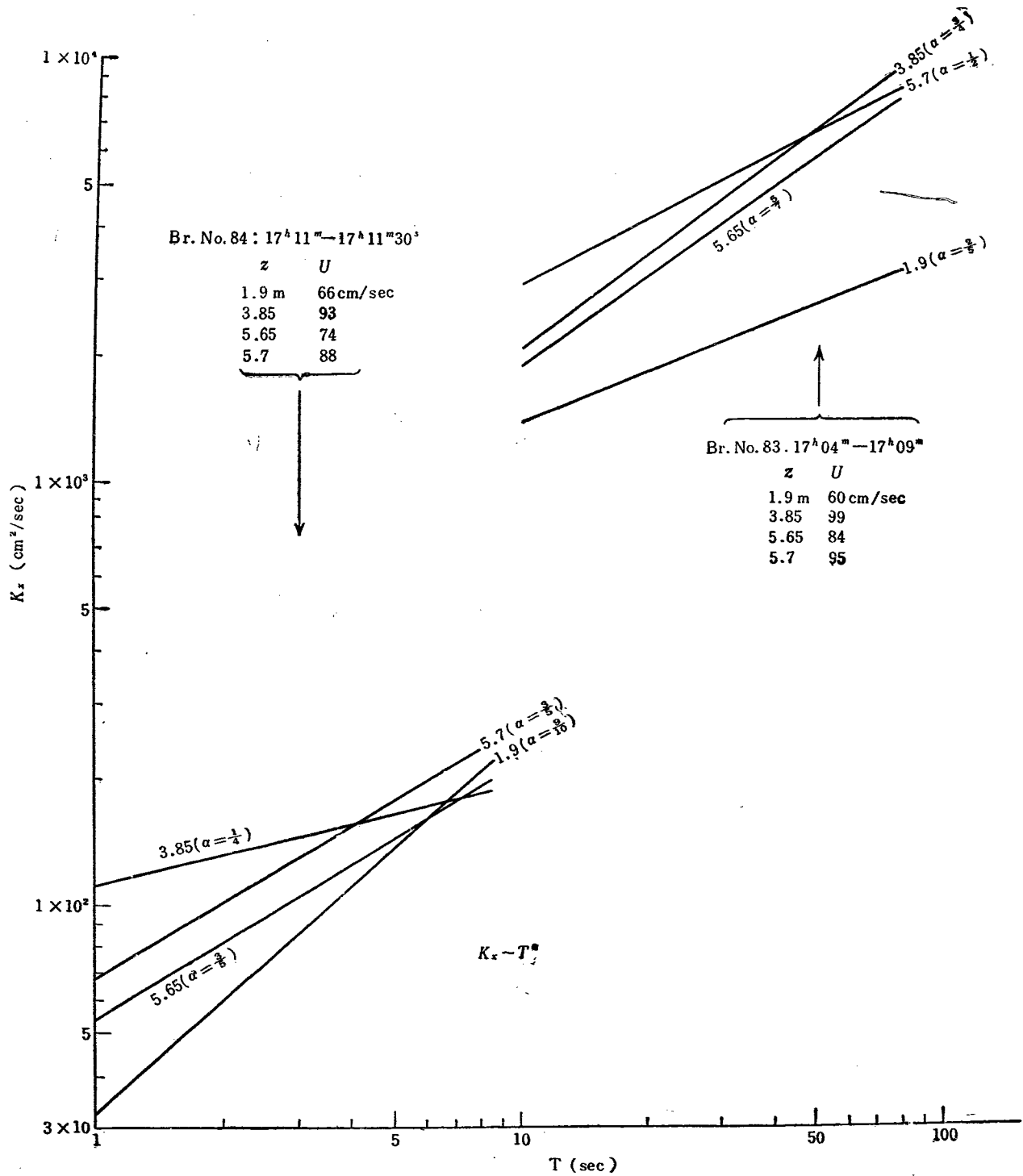
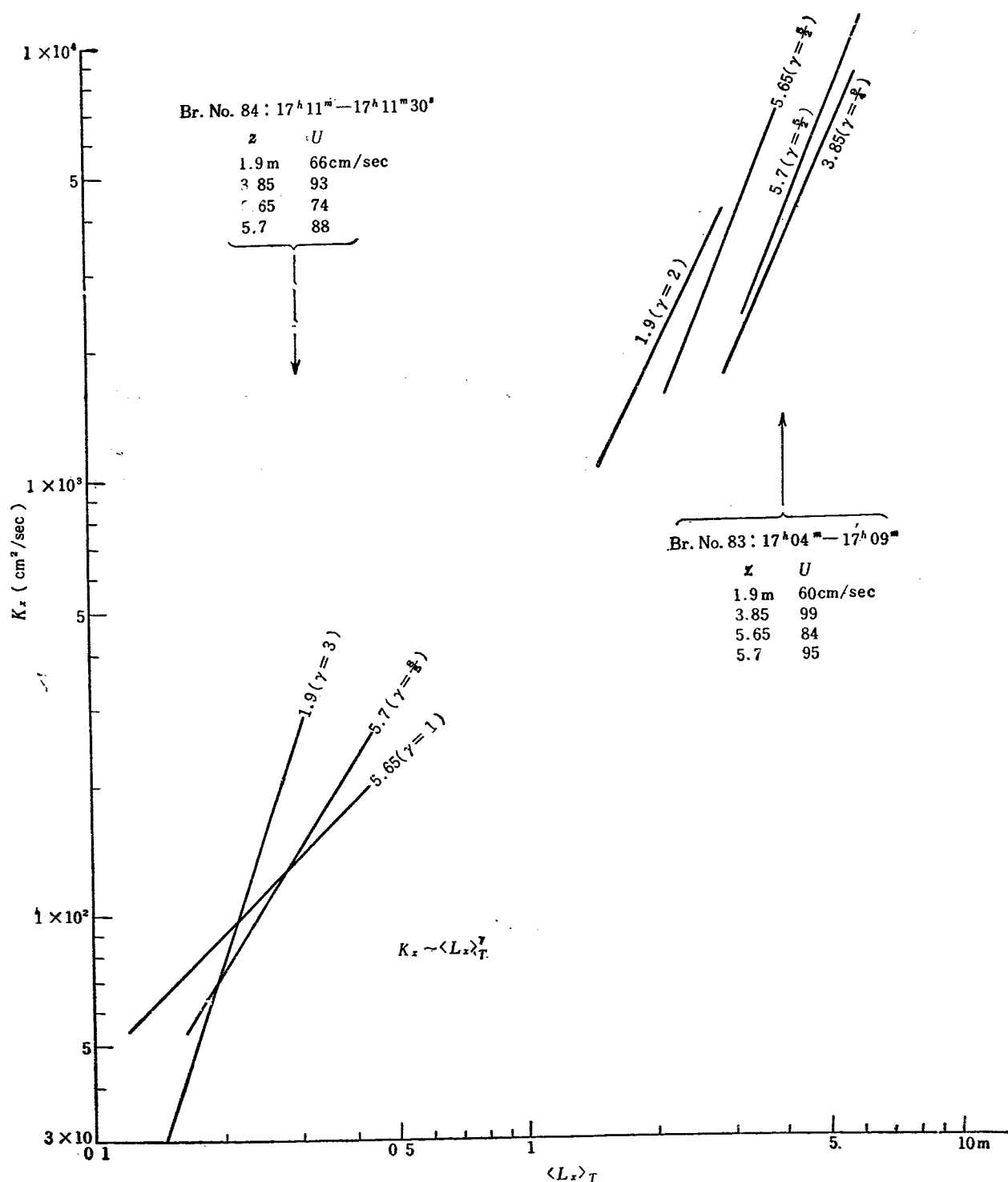


Fig. III—30 水平拡散係数(K_x)と観測時間(T)との関係 (観測地点: ⑥, 1957年2月5日)

Fig. III-31 水平拡散係数(K_x)と平均風の大きさ($\langle L_x \rangle_T$)との関係

(観測地点: ⑤, 1957年2月5日)

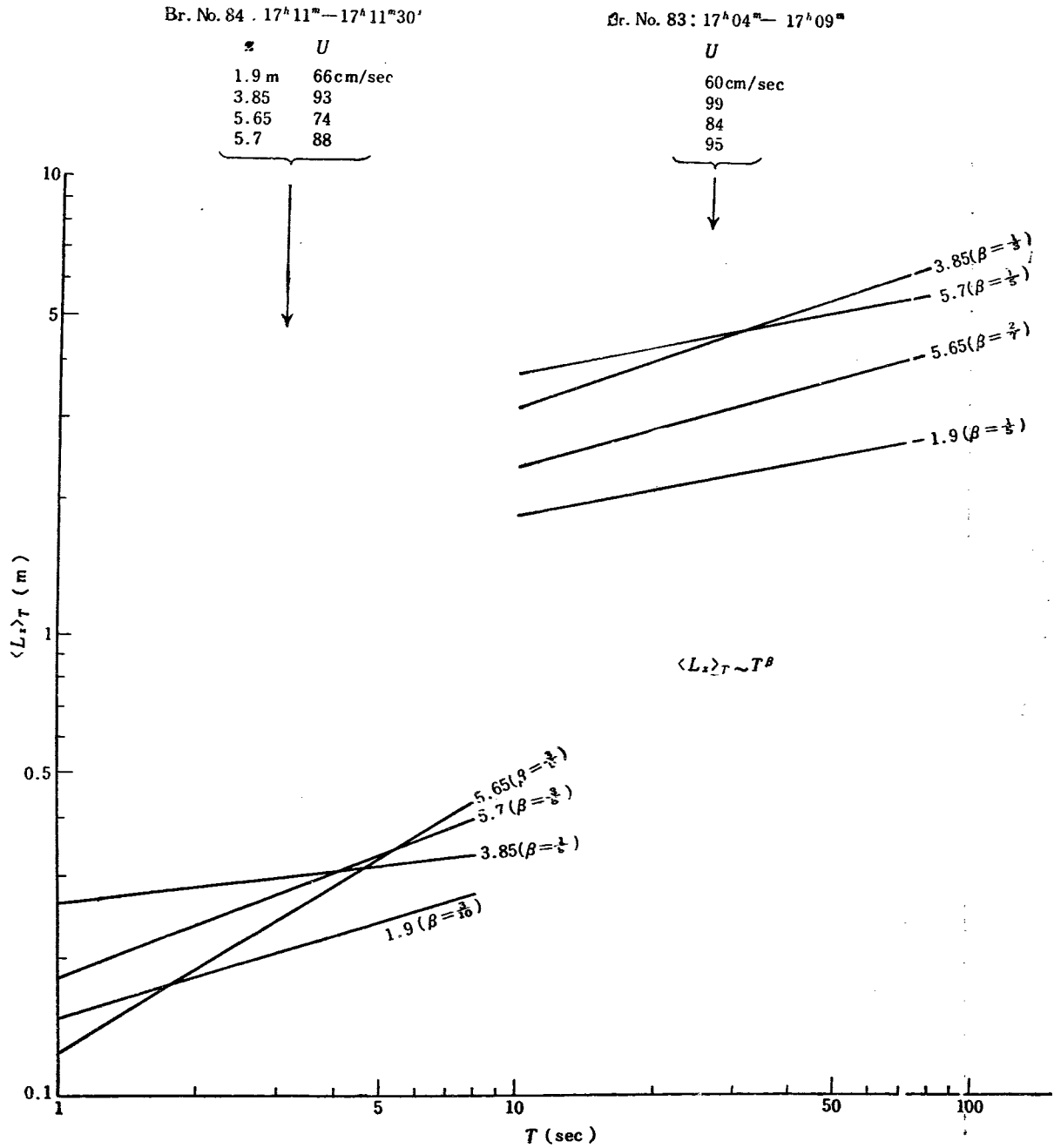
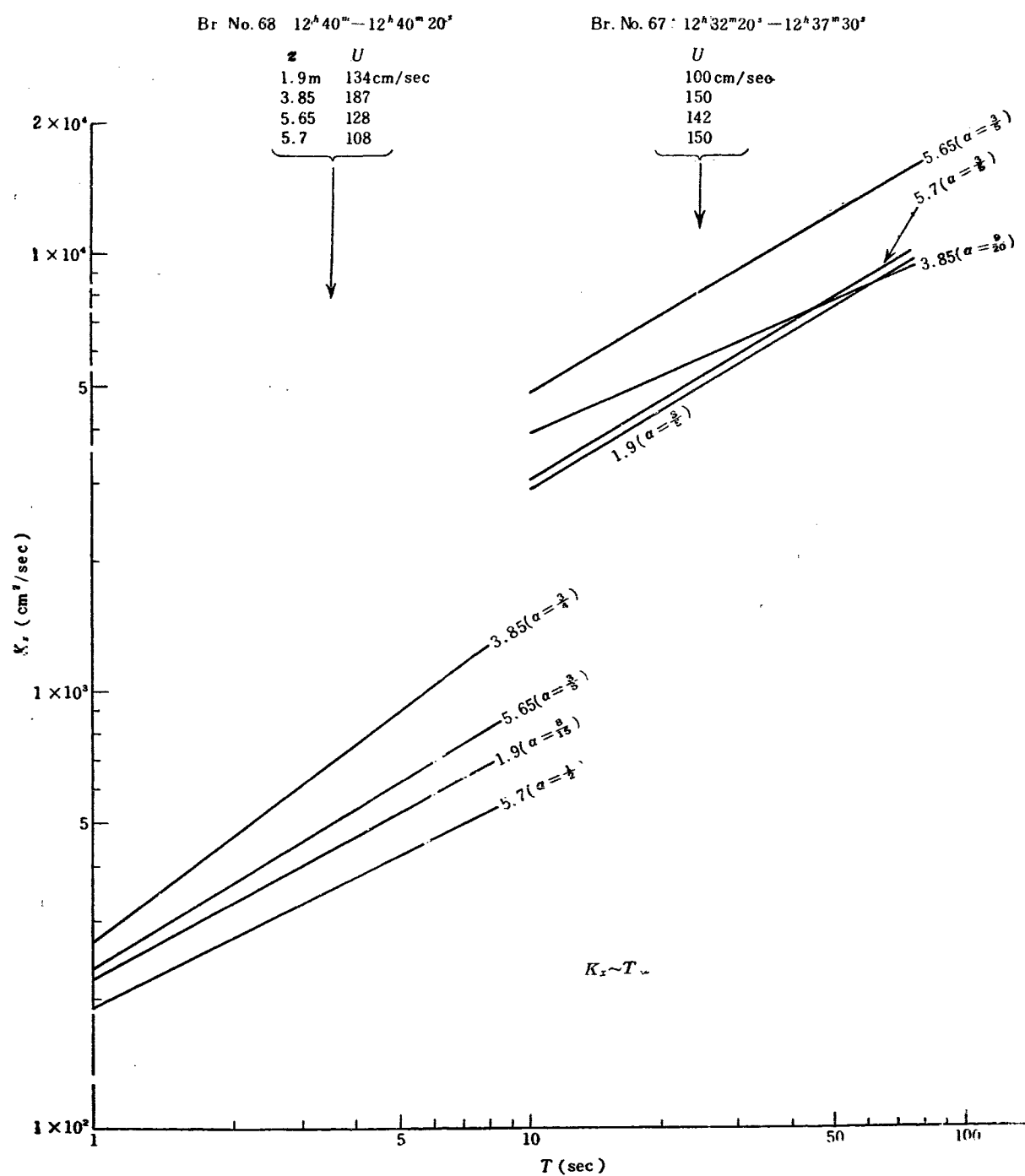


Fig. III-32 平均渦の大きさ $\langle L_x \rangle_T$ と観測時間 T との関係

(観測地点 : ⑥, 1957 年 2 月 5 日)

Fig. III-33 水平拡散係数 (K_x) と観測時間 (T) との関係

(観測地点: ④, 1957年2月5日)

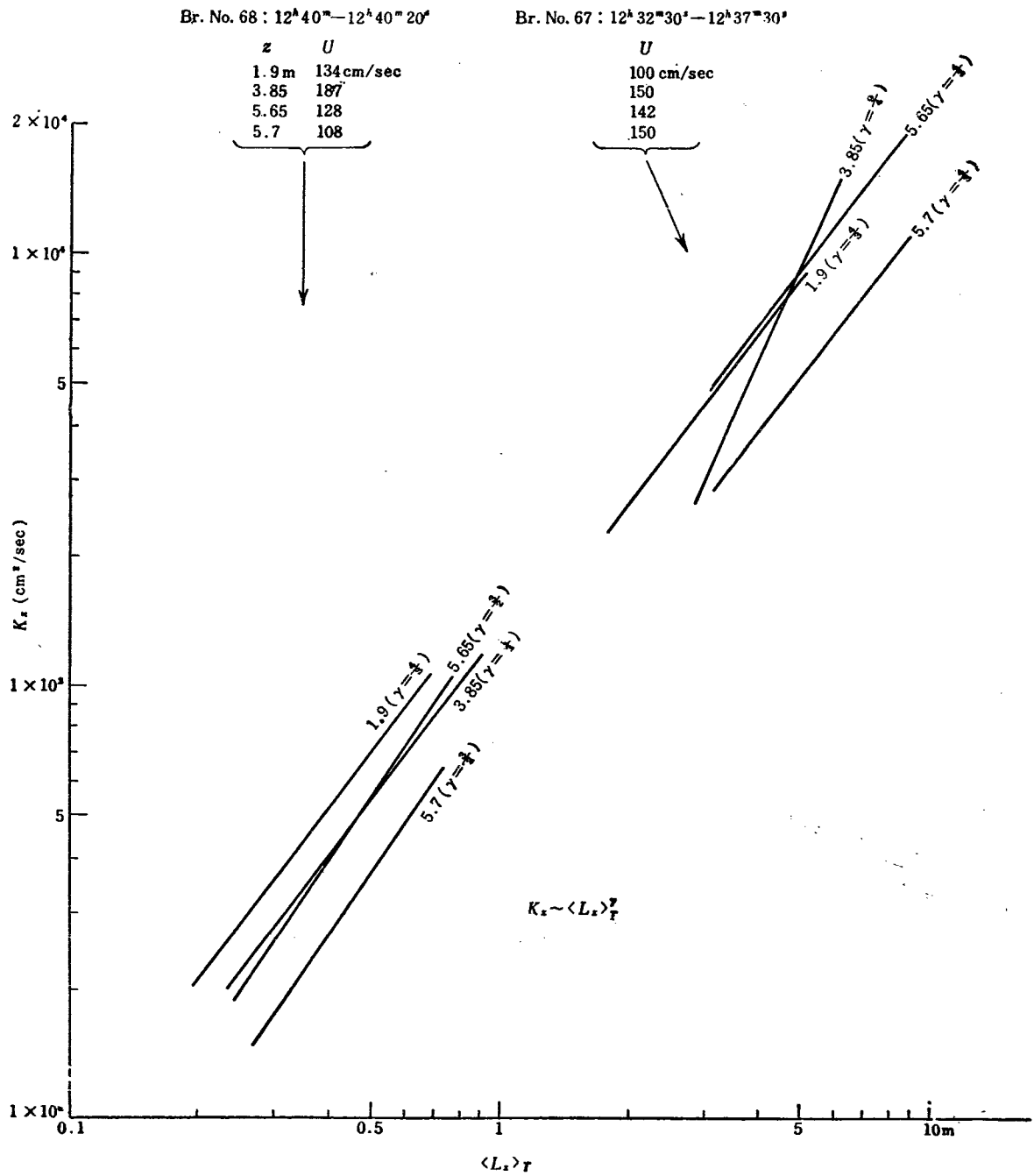
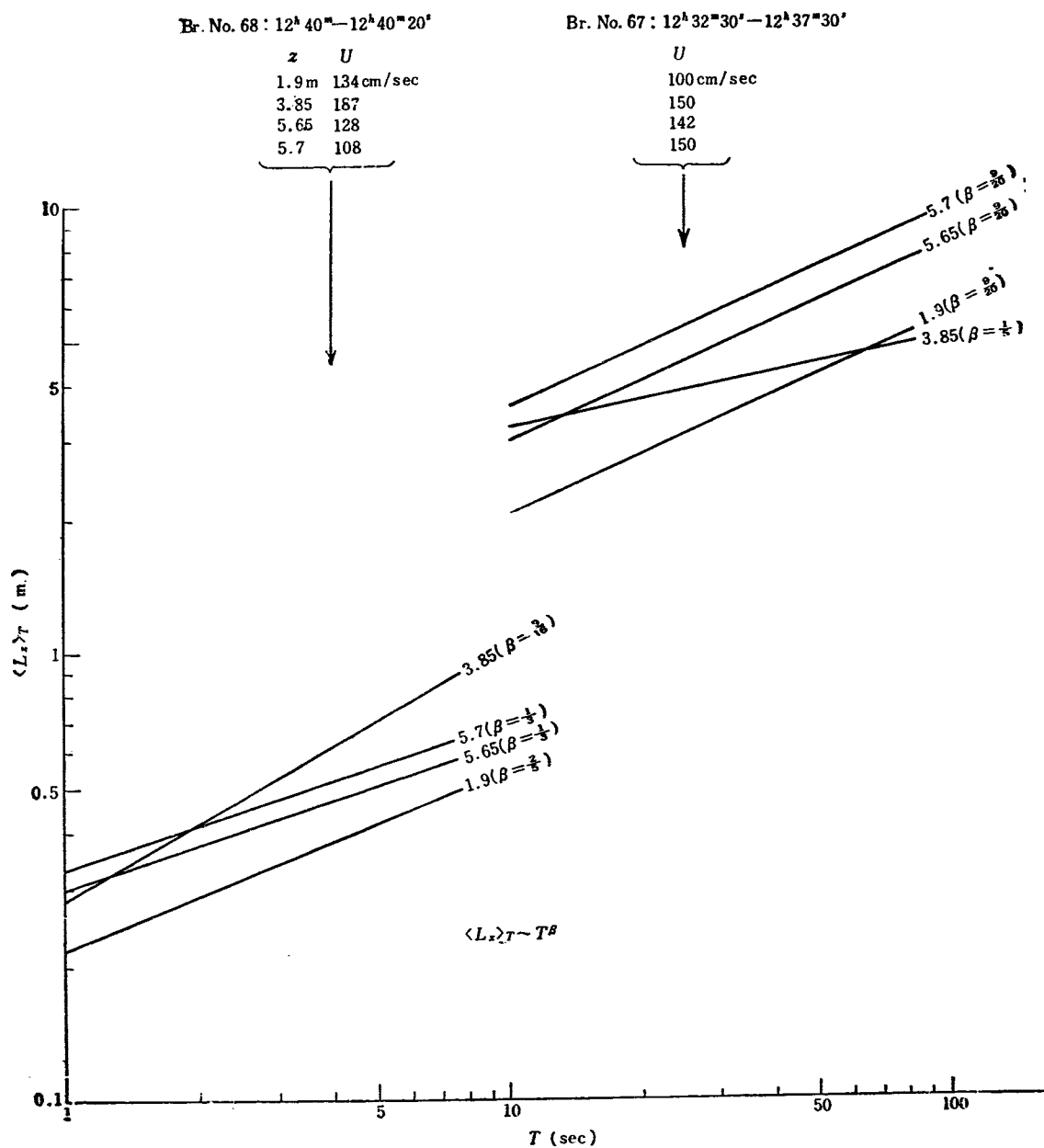


Fig. III—34 水平拡散係数 (K_x) 平均渦の大きさ ($\langle L_z \rangle_r$) との関係

(観測地点: ④, 1957年2月5日)

Fig. III-35 平均高の大きさ $\langle L_x \rangle_T$ と観測時間 (T) の関係

(観測地点: ④, 1957年2月5日)

も大きい、Energy を逸散する割合もまた大きいので r の値が大きくなるものと考えられる。

次に平均渦の大きさと観測時間との関係についてみると、林内においては β の値が林外のそれに比較して小さくなっている。これは林内においては立木のために林外の渦ほどの大きな渦ができないということを意味するものと考えられる。

9. 垂直方向の拡散係数と観測時間の関係

観測地点 ④, ⑤, ⑥ における夫々の高さの垂直方向の拡散係数の観測時間による変化をまとめて Fig. III-36 に示してある。この図をみると K_z (垂直方向の拡散係数) の値が T によって変化するのは大体にお

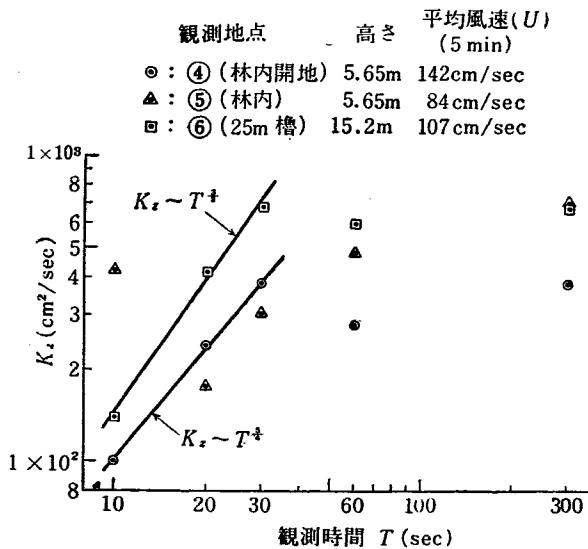


Fig. III-36 垂直拡散係数(K_z)と観測時間(T)との関係

いて $T=30\text{sec}$ あたりまでで、これより大きい T については殆んど変化せず一定値をとることがわかる。これを既に述べた水平方向の拡散係数に対する結果と比較すると、垂直方向ではずっと短い観測時間(水平方向のその約 $1/4$)で拡散係数が一定になるといえる。(水平方向の拡散係数は観測時間が 2min 以上にならないと一定の値にならない)。

観測時間が 30sec より小さい範囲については観測地点 ⑤ (林内) の場合は、 $T=10\text{sec}$ で特に K_z が小さくなっているが他の 2 観測地点については測定値が大体一つの直線上にのり、観測地点 ④ については

$$K_z \sim T^{1/2}$$

観測地点 ⑥ については

$$K_z \sim T^{1/2}$$

なる関係が成立ち、観測地点 ⑥ における K_z はその平均風速が観測地点 ④ におけるものよりも小さいにもかかわらず、④ における同じ観測時間に対する K_z よりも大きくなっている。これは観測地点 ⑥ の K_z の値は

高さ 15.2m 即ち樹冠部附近の高さにおけるものである、松林の直接の影響によって発生した渦による拡散が主体となっているため K_z の値が大きくなっているものと思われる。

§ III-5 今後の問題

1) 今回は一応拡散係数の最も大きい方向と小さい方向とを対象としたので、縦(厳密な意味での縦方向ではない)、垂直の二方向のみの拡散係数を測定し、横方向(平均流に直角な水平方向)の拡散係数の測定は行わなかった。しかし大気中の拡散を問題にする以上これら三方向(すなわち縦、横、垂直方向)の拡散係数を知ることは是非必要であるから将来はいろいろの条件(色々の風向風速のもとで観測地点並びに高さをかえて)のもとで三方向別の拡散係数を測定する必要がある。しかしこのためには風速の三成分を測定できる風速計が必要になるが、現在のところ三成分測定用の熱線風速計は未だ研究途上にありその幾何学的構造に問題があってあまり細い変動は測定できない。しかし数十 cm 以上の大きさの渦は十分に観測できるからこの目的に対しては使用できるものと考えている。

2) 林内あるいは林内開地の空気の換気時間を求めるさいには、地面に近い風速の小さい層の換気が問題になるので、特に今回観測しなかった 2m 以下の層内の風速の高度分布もできるだけ細く測定し、しかも対象とする地域内に数個所の観測点を設けるかあるいは観測檜をできるだけ数多くの地点に移動させていろいろの条件のもとにおいて測定を行い敷地内の風速の空間分布の特性を知る必要がある。

3) 今回は主として林内あるいは林内開地の比較的低い(6m 以下)層内の拡散を対象としたため松林の上方の流れの状態については調べなかったが、この松林外部の状態の変化もある程度下層の松林内の流れに影響をおよぼすと考えられるので、今後は松林の上方の流れについても観測を行う必要があると思われる。しかしこの観測を行うには、例えば熱線風速計でもある程度までは使用できるが技術的にむづかしい問題が多々あり別な測定方法を考えることも必要になってくる。

4) 今回の観測では一方において煙の拡散観測を行ったが相互の連絡に不十分な点があって同時観測はあまり満足に行われなかった。しかし拡散現象の実体をよくつかみ観測結果をより確実なものとするために煙の観測と同時に観測を行って、この両者を比較検討する必要を感じている。

5) Thermistor 温度計による気温の垂直分布の測

定結果（夕刻の観測）によると林の周辺では気温は高さによって殆んど変化しなかったが、これは一つの特別な状態における観測結果で一般的な傾向とするには未だ観測値が足りない。従って今後観測を行う際には

更に気温の高度分布の測定も同時に行って拡散によぼす気層の安定度の影響も一応吟味しておく必要があると思われる。

第 IV 章 煙突の煙のうねり*

§ IV-1 まえがき

煙突の煙は風に流され、うねりながらむくむくと拡がっていく。ときには、煙の一部が地上へ低く下りてくることがあり、これは煙による地物の汚れと関連した一つの大切な問題でもあろう。

大気中における煙の拡散に関する従来の研究では、おもに煙の平均的な濃度分布が取扱われている。したがって、煙突の煙の一部が地上へ下りてきて、短時間ではあるが濃い煙に地物がさらされるとしても、従来の研究では、煙が地上へ下りてこないときも含むある長時間にわたる地上の煙の平均濃度が計算されるにすぎず、煙が地上へ下りてくる確率が小さければ、この平均濃度は小さく計算され、ときには濃い煙が地上へ下りてきたときの地物の汚れが無視されてしまうおそれもある。

筆者は今回の観測を機会に、煙突の煙の上下のうねりおよびその一部が地上へ下りてきたときの濃度に関する問題をはじめて取扱ってみた。

乱流とは、空気がいくつもの塊にわかれ、入り乱れながら、全体として一つの流れを形づくる状態と見る

ことができる。

煙突の煙は、煙突口を次々と通過する一連の気塊に乗り、その個々の運動によって部分ごとにいろいろちがった流れ方をする。この結果、煙は一条の尾を引くような流れとはならず、うねりを生ずる。そして、たとえば地上へ下りてくる気塊にたまたま乗った煙の一塊は地上へ下りてくることになる。

このようなわけで、煙のうねりを取扱うには、まず個々の気塊の運動に着目する必要がある。

§ IV-2 風速変動と気塊

Fig. IV-1 は観測やぐら（第 III 章 Fig. III-1 を参照）の地上 26m および 16.5m の高さに取りつけたきわめて小型の熱線風速計（熱線は径 7 μ 、長さ 3 mm の白金線）で測定した風速のオシログラフ記録の一部である。熱線は垂直に張ったので、この記録はだいたい水平風速を示すと見てよい。

このオシログラフ記録には、周期 $1/100$ sec ぐらいのきわめて細かい風速変動まで記録されているが、長い周期のものを見るにはかえって不便であるので、Fig. IV-2 のような複写装置によってオシロ記録を時間

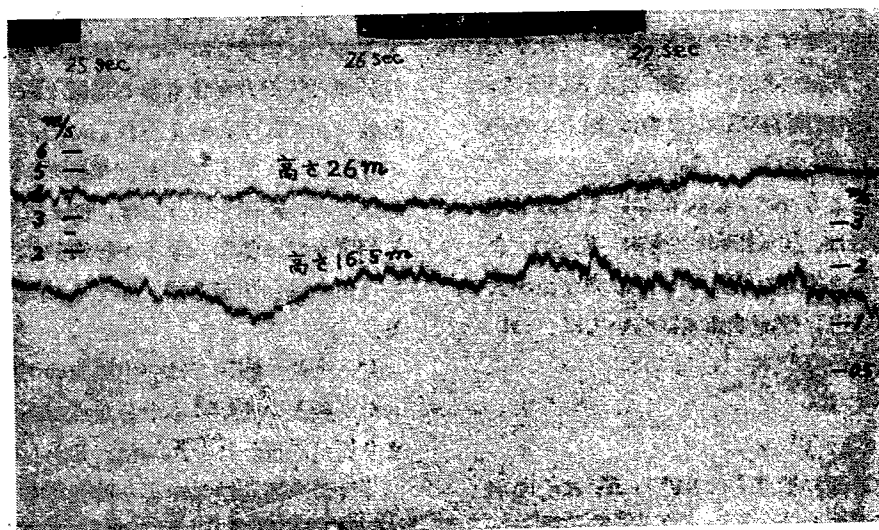


Fig. IV-1 超小型の熱線風速計（白金線の径 7 μ 、長さ 3 mm）で測定した風速のオシログラフ記録の一部

*この章執筆者気象研究所 高橋喜彦、相馬清二、徳植弘、工藤知子

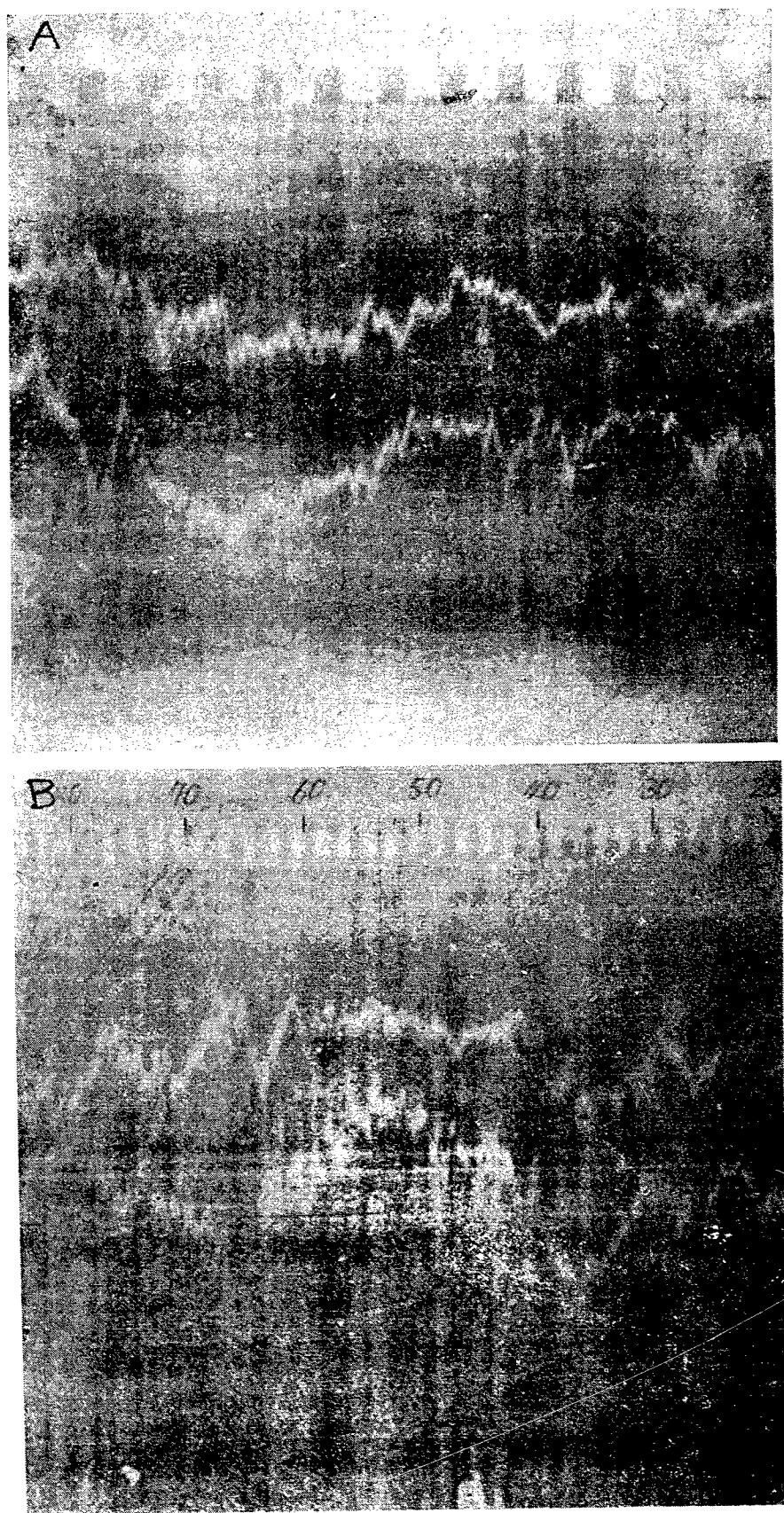


Fig. IV-3 風速のオシログラフ記録を時間軸方向に $1/13.6$ (A) および $1/35$ (B) に縮写したもの

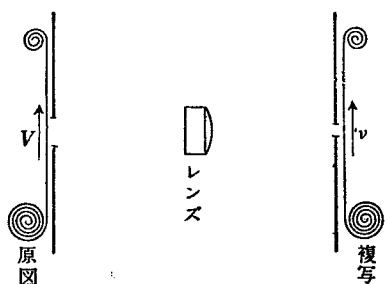


Fig. IV-2 オシログラフ記録を時間軸の方向にだけ縮写する装置 (縮写率= v/V)

の方向にだけ $1/13.6$ および $1/35$ に縮めたものをつくった。これらの一部を Fig. IV-3 に示す。

さてオシログラフ記録に限らず、すべて風速の連続記録に変動が現われることはいうまでもない。これはいろいろな速度で運動する気塊が風速計を次々と通過したことを示す。そして、従来の取扱い方では Fig. IV-4 のように、風速変動の山と谷とをそれぞれ別個

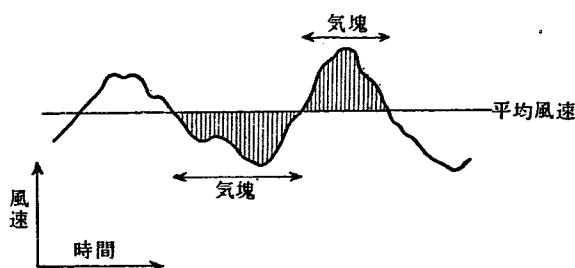


Fig. IV-4 従来の風速変動と気塊との対応の仕方

の気塊が通過したものとする。したがって、従来の取扱いでは、平均流より速度の大きい気塊と小さい気塊とが必ず交互に風速計を通過すると考えることになる。

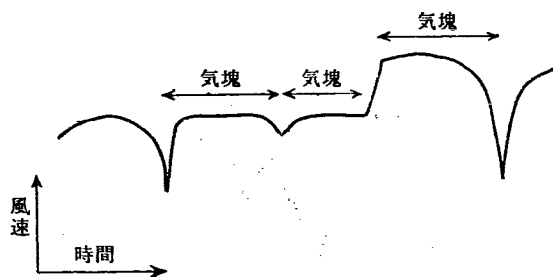


Fig. IV-5 筆者による風速変動と気塊との対応の仕方

ここで筆者は気塊の個々の運動を取扱うための新しい試みとして、従来と異なる風速変動と気塊との対応を考えた。すなわち、Fig. IV-5 に例を示したように、風速がほぼ一定なる部分やゆっくり変化する部分、鋭く切りこんだ谷で境された山の部分などを1個の気塊に相当するものとする。ときには、気塊と気塊との間に中間部を考えることもある。したがって、気塊の区切り方に多かれ少なかれ任意性が入ることは免かれ

ないが、それによって気塊の大きさや速度がひどく変わるというおそれはない。

§ IV-3 煙のうねりと伸び

高さ数十mの煙突から出る煙の大きなうねりは水平大きさが数~数十mの気塊によって引起されると見てよいであろう。

このような気塊を今回観測された風速変動にもとづいて調べてみると、Fig. IV-6 に1, 2, 3 ……と番号をつけた各太線によって示されるものが選ばれる。なお、この図に細い線(一部は太線にかくれる)で引いた風速の変動曲線は、オシログラフ記録を時間軸の方向に $1/35$ 縮写した風速記録(その一部を Fig. IV-3 (B) に示す)からだいたい周期1 sec 以下の細かい変動を均らしたものである。

1個の気塊が風速計を通過する時間を Δt 、気塊の水平速度(ふつう、通過時間中の平均風速を取る)を u とすれば、この気塊の通過する水平方向、たとえば x 方向の大きさ L_x は

$$L_x = u \cdot \Delta t \quad (\text{IV-1})$$

で与えられる。

ここに選んだいくつかの気塊の水平大きさを調べてみると、Fig. IV-7 のような大きさの頻度分布が得ら

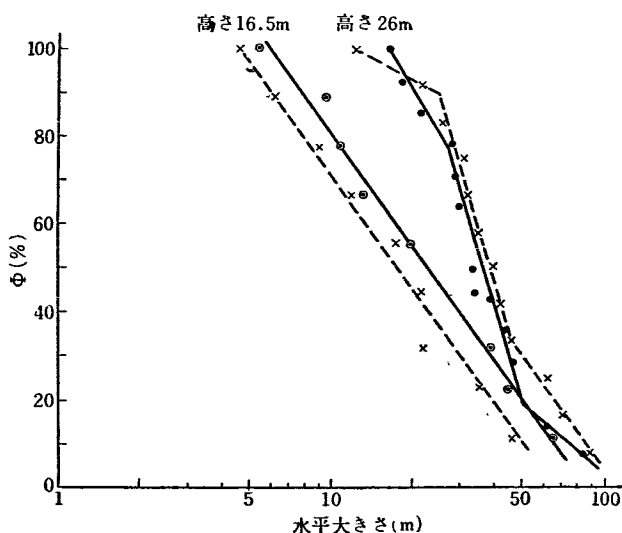


Fig. IV-7 気塊の水平大きさが L_x 以上の個数分布
 $\Phi(L_x)$ は水平大きさが L_x 以上の個数、実線は観測時間 16h 37~40m 破線は 17h 13~16m 1957年2月6日

れる。ただし $\Phi(L_x)$ は水平大きさが L_x より大きい気塊の個数を%で表わしたものである。こうして、ここで選んだ気塊の大部分は煙の大きなうねりを調べるのに必要な大きさのものであることがわかる。

さて、煙突口(ここでは風速計)を相前後して通過した第 i 番目および第 $i+1$ 番目の気塊の水平速度をそれぞれ u_i および u_{i+1} とし、

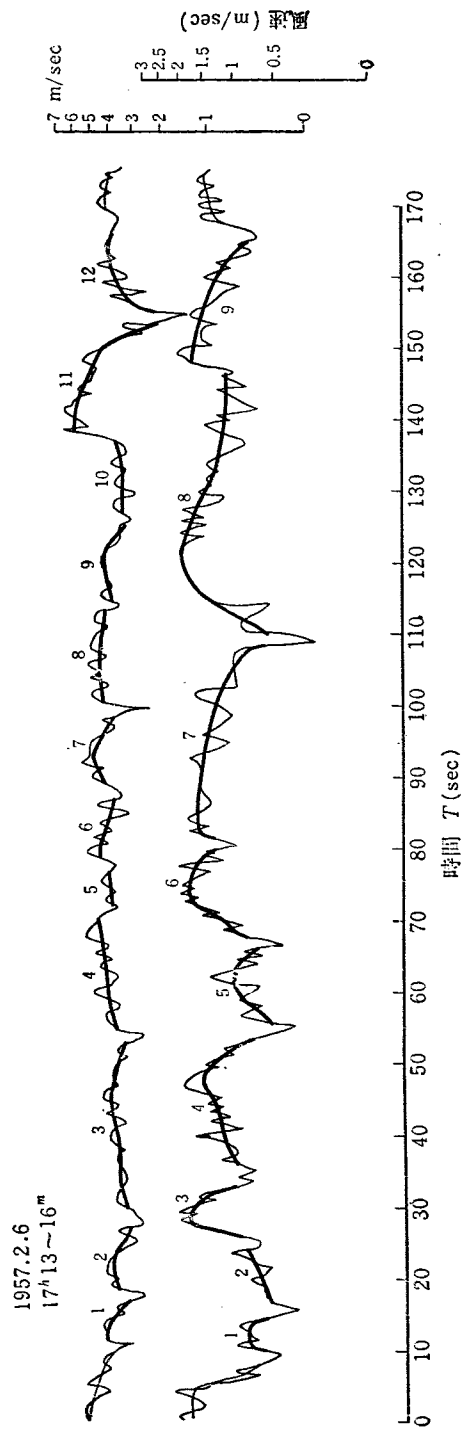
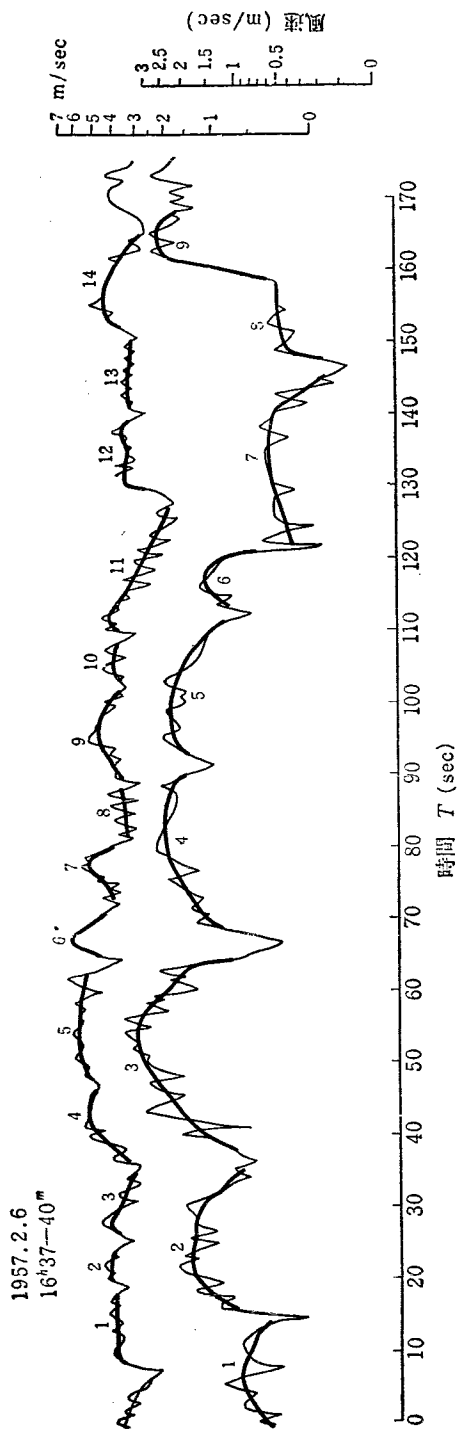


Fig. IV-6 高さ26mおよび16.5mで観測した風速変動とうねりを引起す気流との対応(主風向NNE)

$$\delta u_i = u_{i+1} - u_i \quad (IV-2)$$

とおく。

$$\delta u_i = 0 \quad (IV-3)$$

のときは、Fig. IV-8 (A) のように、相前後する二つの気塊はその間の距離を変えず、気塊の列を乱さずに進んでいく。したがって、煙突の煙はうねらずに流れる。

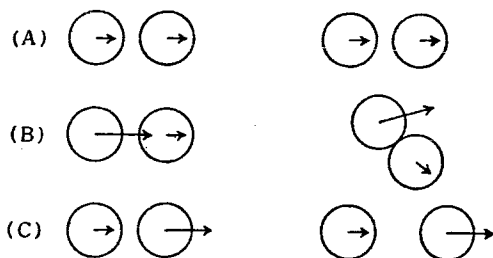


Fig. IV-8 気塊の運動の種類

$$\delta u_i > 0$$

のときは、Fig. IV-8 (B) のように、気塊の列は折れまがる。したがって、煙はうねる。

$$\delta u_i < 0$$

のときは、Fig. IV-8 (C) のように、相前後する気塊間の距離が伸び、この部分へは他の気塊やまわりの空気が収斂する。したがって、煙のうねりを生ぜず、かえってうねりが引伸ばされる。

このようなわけで、 δu_i の正負をもって煙がうねるうねらぬの目安とすることができる。かつ、 $\overline{\delta u_i}$ が正に大きいほど、煙はいつそうねりやすいと考えることができる。

さきに取り上げた気塊について δu_i の正負別の回数および平均値 $\overline{\delta u_i}$ を調べてみると、第1表中に掲げたとおりである。これによれば、26m および 16.5 m いずれの高さでも δu_i の正および負の回数がほぼ等しく、したがって煙のうねりと伸びがほぼ同じ確率で起る、しかし、 $\overline{\delta u_i}$ の大きさから見て、煙のうねり方は二つの高さともだいたい同じであるが、煙の伸び方は 16.5 m の高さの方が弱い。

風速変動の振幅がだいたい平均風速に比例することはよく知られている。したがって、 $\overline{\delta u_i}$ (正負別の平均値) は平均風速 $\bar{u}$ によって大きく変わるが、 $\overline{\delta u_i}/\bar{u}$ は風速とあまり直接の関係がないものとなる。したがって、 $\overline{\delta u_i}/\bar{u}$ をもって風速以外の要素、すなわち、地形、風向、地上の高さ、気層の安定度が煙のうねりの難易に及ぼす影響の目安とすることができる。

TABLE IV-1 にこの $\overline{\delta u_i}/\bar{u}$ の値をも掲げておいた。これによれば、高さ26mと16.5mとでは、低い所(す

TABLE IV-1 気塊の速度とその数
(上段は第1回目、下段は第2回目の観測)

	高さ 26 m			高さ 16.5 m		
	回数	$\overline{\delta u_i}$ (m/sec)	$\overline{\delta u_i}/\bar{u}$	回数	$\overline{\delta u_i}$ (m/sec)	$\overline{\delta u_i}/\bar{u}$
$\delta u_i > 0$	6	0.82	0.19	4	0.93	0.59
	6	0.55	..13	3	0.76	0.56
$\delta u_i < 0$	7	-0.70	-0.16	4	-0.51	-0.33
	6	-0.76	-0.18	4	-0.22	-0.10
$\delta u_i = 0$	0			1		

ぐ風上に幅のせまい松林があり、この樹冠とほぼ同じ高さ)の方が煙のうねりが大きくなりやすいことがわかる。

§ IV-4 気塊の下降の一計算例

われわれが知りたいのは、煙突の煙が大きいうねったときに、その一部がどのくらい低い所まで下りてくるかということ、および低く下りてきた煙がどのくらいの濃度をもつかということである。

さて、煙突口を通過する気塊のうちにたまたま低く下りてくるものがあると、この気塊へ吐き出された煙は低く運ばれ、煙突の煙は下方へうねる。このようなある一つの気塊の運動を取扱うことは一般にきわめて困難である。気塊はたくさんのものが押し合い、へし合いしながら流れ、その一つの運動はそれを二重、三重に取りまく他の多くの気塊の運動と関係を及ぼし合うからである。

しかし、ある時刻に大きな速度をもつ特別大きな気塊が観測されたとすれば、この気塊は短時間の中にあまり速度を変えず、その前面の気塊を押しつけながら進むものと見てもよいであろう。幸い、今回の観測ではこのような特別の場合をとらえ、かつ小さい一つの

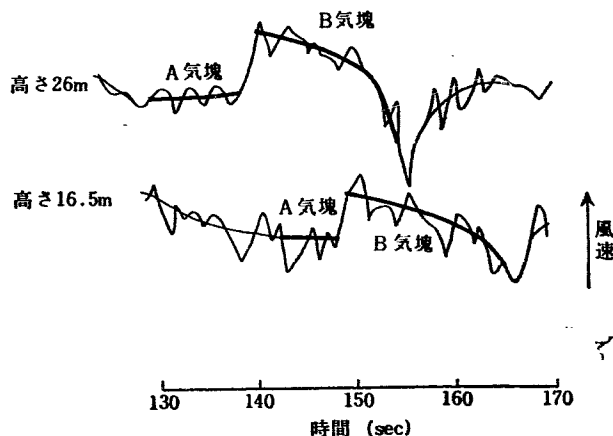


Fig. IV-9 大きい気塊(B)と押下げられる気塊(A)

気塊が押し下げられる運動をきわめて粗い計算ではあるが、何とか見当をつけることができた。

今回観測された特別大きい気塊 (B 気塊と呼ぶ) およびこれに押し下げられる気塊 (A 気塊と呼ぶ) とを風速変動図にもとづいて示せば、Fig. IV-9 (Fig. IV-6 の一部) のとおりである。高さ 26m および 16.5m で観測されたこの二つの気塊の水平大きさおよび水平速度を TABLE IV-2 に示す。ただし、A 気塊は高さ 16.5m ではあまり明らかに観測されていない。この高さを A 気塊が通過したと見ても、その下端がわずかにかかった程度にすぎないようである。

TABLE IV-2 A および B 気塊の水平大きさと水平速度
(上段は高さ 26m、下段は高さ 16.5m における観測値)

気 塊	A	B
水平大きさ (m)	31 3	69 21
水平速度 (m/sec)	3.5 1.0	5.6 1.7

B 気塊は二つの高さを明らかに通過している。しかも、二つの高さにおける B 気塊の前面の通過にともなう風速の急増が、この通過時刻に約 10sec の差があるにもかかわらず、ともにきわめて明らかに観測されている。このようなことから見て、少なくとも 20~30 sec のあいだ B 気塊はその前面を崩さずに進んだものと考えることができよう。

すでによく知られていることではあるが、相異なる気流が重なっていない場合にも、風速は高さとともに増す。これは地面摩擦によるのであって、この風速の勾配は地上へ近づくにつれて大きくなる。今回の観測においても、高さ 26m と 16.5m とでは風速に大きなちがいがある。そして、たとえば TABLE IV-2 で見られるように、同じ気塊でありながらその水平速度は二つの高さでかなりちがう。これは、気塊が前のめりにひずみながら、あるいは転がるような回転運動をしながら進むものとして一応説明することができよう。

さて、二つの高さでそれぞれ観測された B 気塊の前面の通過時刻に差があるのは、この前面が傾いていたからである。いま、この前面が観測点を通過する前後しばらくのあいだ、その各高さの水平速度が変わらなかったとすれば、観測点の 26m の高さを前面が通過したとき (この時刻を $t=0$ とする) 前面の傾きは、Fig. IV-10 のようになる。ただし、高さ 26m および 16.5m における前面の水平速度をそれぞれ 5.6 および 1.7m/sec とし、かつ前面は平面であるとした。つ

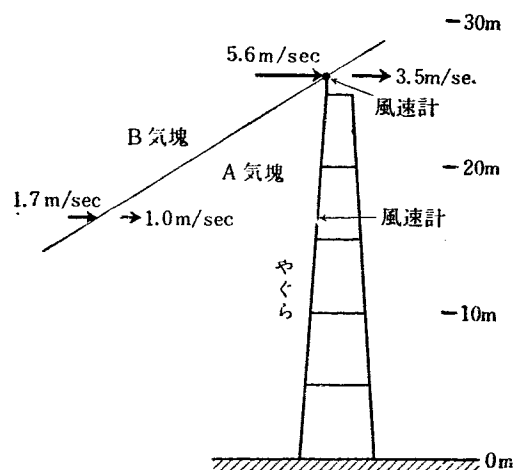


Fig. IV-10 B 気塊の前面が観測地点の高さ 26m の所を通過するときの前面の傾きなどを示す

ぎに、各高さにおける前面の水平速度が引きつづき変わらないものとして、その後の傾きを求めてみると Fig. IV-11 のようになる。ただし、前面の水平速度は高さによって直線的に変わり、したがって、前面は平面を保つものとした。

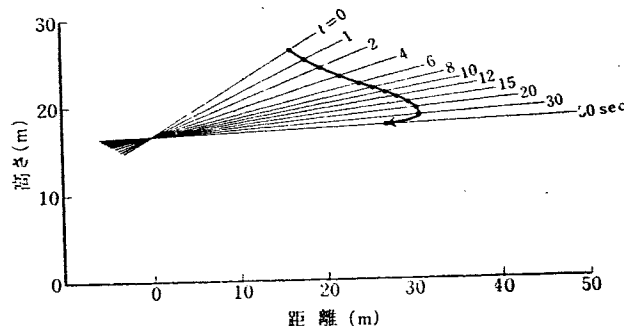


Fig. IV-11 観測地点の高さ 26m の所を通過 (時刻 $t=0$) したのちの各時刻における B 気塊の前面の傾き、およびこの前面に沿って、 $t=0$ に高さ 26m の所にあつた空気が押し下げられていくありさま (太線)

このように前方へ傾いた前面をもって進む B 気塊はその前方の A 気塊を押し下げることになる。この場合かりに A 気塊は押し下げられながらも、各高さの水平速度は変わらないものとする。すなわち、ある高さを占める A 気塊の一部分は高さが変わらない限り水平速度を変えないが、押し下げられると、その高さに応じて水平速度を変えていくものとする。いま、このような考えのもとに、B 気塊の前面に沿い、 $t=0$ に高さ 26m の所にあつた空気がどのように押し下げられていくか調べてみると、Fig. IV-11 に太線で示したような下降運動を示す。ただし、この空気の水平速度は高さ 26m および 16.5m においてそれぞれ 3.5 および 1.0 m/sec とし、高さによる水平速度の変わり方は直線的であるとした。

Fig. IV-12 はやぐらの高さ 16.5m で風速を主風

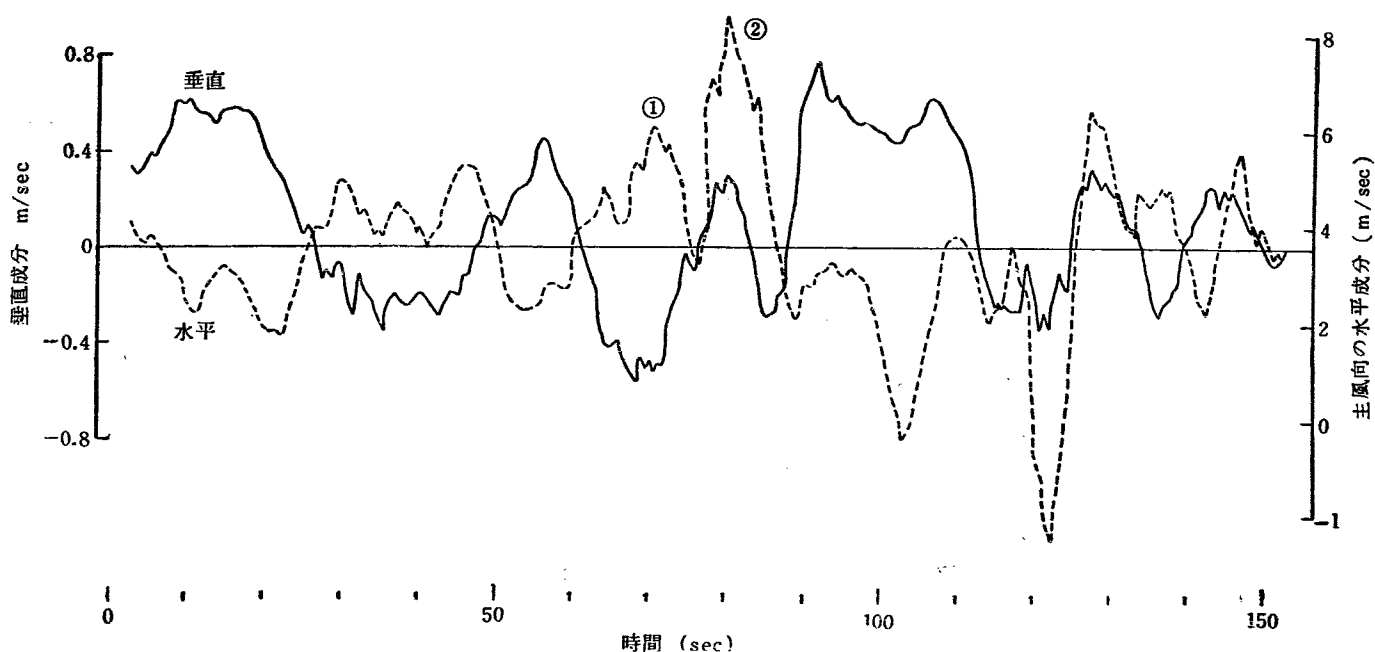


Fig. IV-12 高さ 16.5m における風速の主風向の水平成分と垂直成分 (観測時刻 1957 年 2 月 5 日 16h34mより)

向の水平成分と垂直成分とにわけて測定した結果であるが、たとえばこの図において、水平速度の小さい気塊①が水平速度の大きい後方の気塊②に押し下げられて約 0.4m/sec の下降速度をもち、この反動で気塊②は約 0.15 m/sec の上昇速度をもつことがわかる。この下降速度の一測定例から見て、前記の計算例において A 気塊の最後部が Fig. IV-11 で見られるような下降速度で押し下げられることはだいたい自然であろう。

なお、Fig. IV-12 の風速の二成分は Fig. IV-13 の装置で測定したものである。すなわち、振動する十字桿の水平桿の先端と垂直桿の上方の先端とにそれぞれ熱線風速計が取付けてある。熱線はいずれも桿に平行して張ってある。

いま、上下に振動する熱線風速計の最大速度を W 、この最大速度で上方および下方へ向うときの熱線風速計の風速示度をそれぞれ H_+ および H_- とし、風速の垂直成分（上向きを正）を w 、熱線に直角の水平成分を u 、他の水平成分を v とすれば、

$$\begin{cases} H_+^2 = (w - W)^2 + u^2 + \alpha u^2, \\ H_-^2 = (w + W)^2 + u^2 + \alpha v^2 \end{cases} \quad (\text{IV-6})$$

なる関係がほぼ成り立つ。これから w が求められて

$$w = \frac{H_-^2 - H_+^2}{4W} \quad (\text{IV-7})$$

となる。(IV-6) 式の右辺にある α は、風が熱線に平行に吹いても風速計に感ずるための係数であり、もし

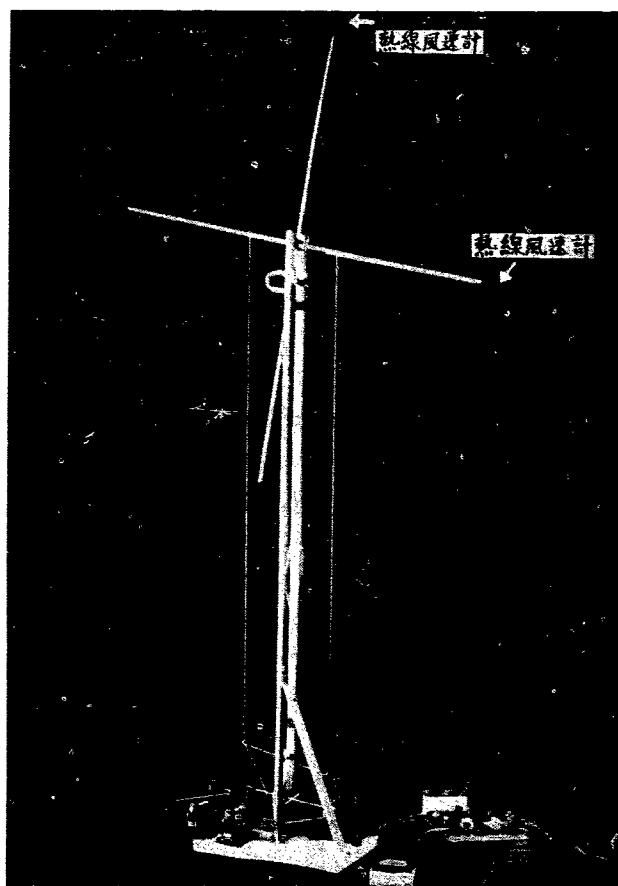


Fig. IV-13 風速の二成分を測定する装置

方向性のない風速計をつかえば $\alpha=1$ となる。

なお、今回の測定における十字桿の振動周期は 2sec

であったから、 H_+ と H_- との読取りに0.5secのずれがある。この間に風速は変化するから、正しい w は求められないので、オシログラフの記録から0.5secごとに求めた w を5sec間隔で移動平均した。他の風速成分の測定および算出もこれと同じである。

§ IV-5 煙塊が下りてくる高さの一計算例

たとえば、Fig. IV-1, 3, および 6 を見ると、風速は細かい変動をしながら、さらに一段と大きな変動をしていることがわかる。これは小さい気塊がたくさん集まって大きな気塊を形づくっていることを意味する。この小さい気塊は大きい気塊としての mass motion をすると同時に、相互にいろいろな相対運動をしている。

小さい気塊とは限らないが、気塊個々でなく、たくさんのものについて統計的にその運動を取扱う場合には、気塊の運動を random と見るのがふつうである。

上記の小さい気塊の運動についてこのような統計的の取扱いをするならば、一つの気塊が t 時間にく以上の垂直距離（水平方向の運動距離の如何は問わない）を下りてくる確率は、この気塊が他のたくさんの気塊にもまれて、いくつも折れ曲った運動をするとして、

$$\frac{1}{2\sqrt{\pi K_z t}} \int_0^\infty e^{-\frac{\zeta^2}{4K_z t}} d\zeta \quad (\text{IV-8})$$

である²⁶⁾。ここに、 K_z は垂直方向の渦拡散係数である。たくさんの気塊について、その垂直方向の平均大きさを $\bar{L}_z$ 、その運動の垂直速度成分の平均変動値（mass motion に対する random motion の垂直速度成分の正負を考えない平均値）を $|\overline{\Delta w}|$ とすれば、 K_z は

$$K_z = \frac{\pi}{4} |\overline{\Delta w}| \cdot \bar{L}_z \quad (\text{高橋の式})^{27)} \quad (\text{IV-9})$$

で与えられる。したがって、 K_z は風速の垂直成分およびその変動から求めることができる。

いま、A気塊やB気塊を形づくる一段小さい気塊に

ついて実際に調べてみると、その水平大きさは1.5~2.5m ぐらい、水平方向の渦拡散係数 K_x は $2.8 \times 10^8 \sim 6.6 \times 10^8 \text{ cm}^2/\text{sec}$ ぐらいとなる。また、根本の測定結果(第3章 TABLE III-2)から推定して、垂直方向の渦拡散係数 K_z は高さ26mにおいてだいたい $1 \times 10^8 \text{ cm}^2/\text{sec}$ に取ればよさそうである。

さて、前節では、A気塊がB気塊に押し下げられたときのA気塊の一部分がたどる運動経路を求めた。この場合、小さい気塊の random motion は考えなかった。すなわち、mass motion だけによる経路である。しかし、A気塊は random motion をするたくさんの小さい気塊からできているのであるから、A気塊の同一部分を同一空気がいつまでも占めているわけではなく、やがては他の部分の空気と入れかわることもある。したがって、前節で求めた運動経路は同一空気が実際にたどる経路と見るわけにはいかない。ある一塊の空気が実際にたどる経路は mass motion と random motion とをあわせ考えて求めなくてはならない。すなわち、前節の計算例についていえば、Fig. IV-11 の太線の運動経路に random motion による運動経路を加えたものがある一塊の空気が実際にたどる経路となる。この場合、random motion を取扱うのであるから、運動経路は単一的にきまるわけではなくいろいろな運動経路が確率的に示される。

そこで、Fig. IV-11 に示した運動経路を mass motion として取るような小さい気塊が、この経路を外れてどのくらい下方へ下りてくることがあり得るか調べてみよう。

まず、 $t=10, 20, 50 \text{ sec}$ に対してそれぞれ(IV-8)の確率が0.005, 0.01, 0.05, および0.1となるように求める。ただし、渦拡散係数 K_z として前記の根本の測定値をもちいた。Fig. IV-11 の運動経路上の各時間の位置から下方へそれぞれの時間に対する上

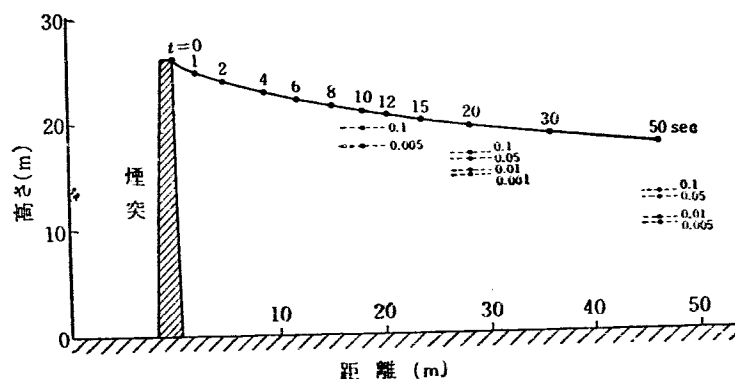


Fig. IV-14 煙塊の mass motion と random motion によって下りてくる高さの確率

記 5 の距離だけ下がった高さを求めると、Fig. IV-14 に破線で示すような各高さとなる。ただし、Fig. IV-11 は B 気塊の前面の高さ 16.5 m の点を固定させて画いた図であったが、Fig. IV-14 は地面を固定させて画いた図である。

この図から、 $t=0$ に B 気塊の前面に沿って高さ 26 m の所にあった空気そのものがどのような確率をもってどのくらい下方まで下りてくることがあり得るかという見当がつく。たとえば、20 sec 後に地上約 16 m の高さ以下に下りてくる確率は 0.05 であることがわかる。

さて、今回の観測点の位置に高さ 26 m の煙突が立っていたとすれば、この煙突の煙がどのくらい低い所まで下りてくることがあり得るか、それは煙の一塊を random motion をする小さい気塊として取扱えばよいから、Fig. IV-14 がそのまま煙についての計算例でもある。たとえば、高さ 26 m における A 気塊および小さい気塊の水平大きさをそれぞれ 31 m および 2 m とすれば、A 気塊が煙突口を通過したとき、 $31/2 \approx 15$ 個の煙塊が連なるわけである。この場合、A 気塊の前部と後部とでは B 気塊による押し下げられ方が当然ちがうが、かりに同じであるとすれば、上記の一連の煙塊はいずれも同じ確率で同じ高さまで下りてくるわけである。したがって、A 気塊の高さ 26 m の所に吐き出された煙塊のどれか一つが（確率と実際に起る率とにちがいないとして）、たとえば 20 sec 後に必ず下りてくる高さは Fig. IV-14 の確率 $1/15$ という高さに相当し、約 16 m となる。

§ IV-6 低く下りてきた煙塊の濃度

前節で取上げた小さい気塊（一次の小気塊と呼ぶ）はさらに一段小さい気塊（二次の小気塊と呼ぶ）がたくさん集まって形づくられている。今回高さ 26 m で観測した風速変動から二次の小気塊を調べてみるとその水平大きさは 20~50 cm くらい、水平方向の渦拡散係数は 70~200 cm²/sec くらいとなる。

二次の小気塊も mass motion のほかに、やはり、random motion をする。このため、ある時刻にかたまりとなっていた小気塊は次第に散っていく。この気塊個々の運動が目立たぬ程度に巨視したとき、これは一次の小気塊を形づくっていた空気が拡散するというに外ならない。この小気塊を球形とし、かつその拡散は重力や地面の影響を受けず、等方性であると見て、小気塊を形づくっていた空気の拡散による濃度分布の変化を拡散の微分方程式から求めてみると、Fig. IV-15 のようになる。これは、はじめ 1 という

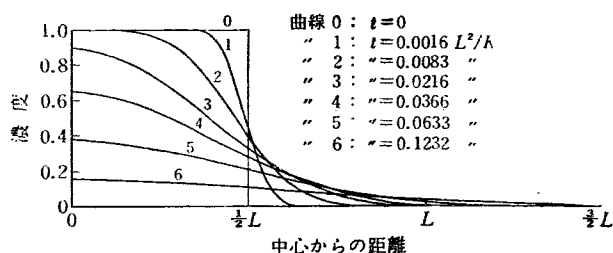


Fig. IV-15 球形の直径 L の空気が拡散（渦拡散係数 K）していくときの各時刻におけるこの空気の濃度分布

濃度の煙塊が次第にまわりへ散り拡がり、それとともに濃度の煙塊が減っていくありさまをも示す。ただし、L は気塊の最初の直径、K は渦拡散係数とする。

いま、煙突から吐き出された直後の煙塊の直径を 2 m（一次の小気塊のだいたい平均大きさ）、その渦拡散係数を 150 cm²/sec（前記 70~200 cm²/sec のだいたいの平均値）として、これらの数値を Fig. IV-15 に入れてみた図が Fig. IV-16 である。ただし、実際の場合、煙塊相互の拡散による煙の入れかわりが行われるから、ただ一つの煙塊だけがあるとして求めた Fig.

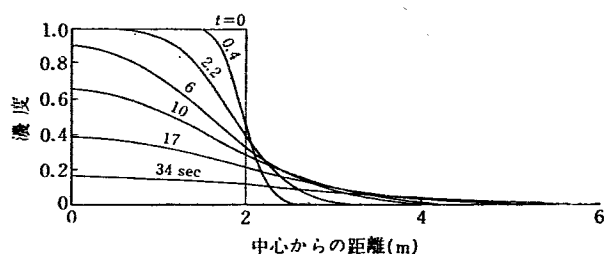


Fig. IV-16 直径 2 m の球形の煙塊が拡散（拡散係数 150 cm²/sec）していくときの煙のひろがりとその濃度（はじめの濃度を 1 とする）

IV-16 の濃度よりは実際の煙塊の濃度の減り方がおそいことは明らかである。

以上、Fig. IV-14 および Fig. IV-16 から、煙突の煙の一部が低く下りてくる高さやその濃度の見当がだいたいつくとはいえる。これは今回の観測にもとづく一つの計算例にすぎない。しかし、この計算例から見て、下降する気塊に乗って煙突の煙が比較的濃いまま低く下りてくること、この煙が引きつづき拡散していくことを考えれば、煙が下方へうねるということは煙源を比較的濃いまま煙突の高さからずっと下方へ移すことになり、それだけ地物の汚れをひどくすることがわかる。

§ IV-7 煙塊の最初の濃度

前節では、煙突から出た煙が直ちに小さい煙塊にわけられるものとして、この煙塊の最初の濃度を基準にして、その後の煙塊の拡散にともなう濃度の変化を計算した。したがって、煙塊の実際の濃度を求めるには、その最初の濃度を知る必要がある。しかし、われわれ

が直接知り得るのは煙突内の煙の濃度であるが、これをもって煙塊の最初の濃度とすることは一般に危険である。

さて、乱流とは空気がたくさんの塊にわかれ、それらの気塊が mass motion と同時に random に近い運動をする状態であるが、この気塊は勝手な大きさを取り得るわけではなく、それにはいくつかのはぼきまった大きさというものがある。たとえば、今回高さ26mで観測された気塊の水平大きさとして2cm, 20~50cm, 1.5~2.5m, 数~数十m, および100~230mというはぼきまった大きさが得られた。もちろん、気塊が取り得る大きさは地形、高さ、風速、気層の安定度などによって変わることはいうまでもない。

ここで、煙とは煙粒子を含んだ空気をいい、この煙粒子の存在が空気の密度や粘性などを少しも変えないものとすれば、煙とは空気の一部がただ色付けされたものにすぎず、気塊の形成について煙だけを特別扱いする必要はない。ただわれわれは、色付いて見える気塊を煙塊と呼ぶ。

いま、気塊の取り得る大きさのうち、前節で取扱った煙塊の最初の大きさに当る気塊の大きさを L_0 とし、これより小さいものを順に $L_{-1}, L_{-2}, \dots$ とし、これより大きいものを順に $L_1, L_2, \dots$ としよう。そして、たとえば L_{-1} 気塊から着目すれば、 L_{-1} 気塊は個々に random motion をしながらも、そのいくつかが集まって mass motion をして L_0 気塊を形づくる。 L_0 気塊も個々に random motion をしながらも、いくつか集まって mass motion をして L_1 気塊を形づくる。

このような考えによれば、煙突から出た煙は直ちに $\dots, L_{-2}, L_{-1}, L_0, \dots$ と順次大きい気塊(煙塊)を形づくっていくわけである。そして、煙突口が L_0 より充分大きく、かつ充分多量の煙が出る場合は、この煙だけで L_0 気塊を形づくることができる。したがって、前節の計算例における煙塊の最初の濃度は煙突内の濃度に等しい。しかし、煙突口が小さく、あるいは発煙量が少ないために吐き出された煙だけで L_0 気塊をつくることのできない場合は、まわりの空気といっしょになって L_0 気塊を形づくり、したがってこの煙塊は最初から煙突内よりは小さい濃度をもつことになる。

いま、煙突口から吐き出された煙がかりに少しも拡散せず、かつ風が全くなくて直上するとすれば、Fig. IV-17 に破線で示したように、はじめ煙はその内外圧の差でふくれるか細まるが、やがて太さがほぼ一定と

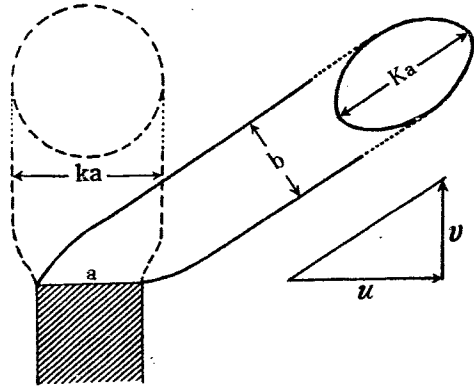


Fig. IV-17 煙突から放出した煙の体積の幾何的表示の図

なり、上昇速度も一定となる。この場合、煙突口を円形としてその直径を a 、上昇速度が一定となった部分の煙の直径を ka ($k \geq 1$)、その上昇速度を V 、単位時間に出る煙の体積(煙突外の圧力における体積)を Q とすれば、

$$\frac{\pi}{4} (ka)^2 V = Q \quad (\text{IV-10})$$

なる関係がある。

つぎに、この煙が少しも拡散しないまま、風のために煙の各部分が風速と同じ水平速度をもって水平方向に歪んだとすれば、Fig. IV-17 に実線で画いたような形をとる。この場合、煙の太さがほぼ一定になったときのその短径を b 、風速を u とすれば、

$$b = kaV / \sqrt{V^2 + u^2} \quad (\text{IV-11})$$

あるいは (IV-10) とから

$$b = \frac{ka}{\sqrt{1 + \frac{\pi^2 (ka)^4}{16 Q^2} u^2}} \quad (\text{IV-12})$$

の関係が得られる。

さて、煙が吐き出されたときの加速度をほぼ失ったところで煙塊を自由に形づくとすれば、ここでその最初の濃度を知りたい大きさ L_0 なる煙塊がどんな割合の煙と空気で形づけられるか、上記の a と b で与えられる煙の大きさと L_0 とから幾何学的にその割合をだいたい見当づけることができる。この割合で煙塊の濃度がきまる。ただし、もともと粗い取扱であるから、計算を簡単にするため、煙の断面を ka 、 b を二辺とした矩形、 L_0 気塊を一辺が L_0 なるさいころ状としよう。なお、煙突内の煙の濃度を1とする。

1. $ka, b \gg L_0$ の場合 (Fig. IV-18, 1 の場合)
大部分の煙塊は濃度1をもつ。これは、充分太い煙突口から充分多量の煙が出る場合である。

2. $ka > L_0, b \ll L_0$ の場合 (Fig. IV-18, 2 の場

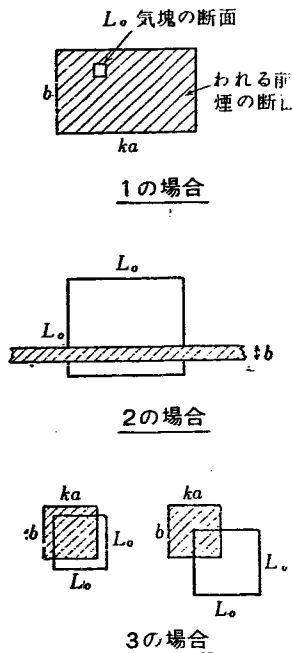


Fig. IV-18 煙塊と空気塊とのまじり方

合) 大部分の煙塊の平均濃度は

$$b/L_0 \quad (IV-13)$$

となる。これは、風が非常に強いときに充分太い煙突から煙がでる場合である。

3. $ka, b \approx L_0$ の場合 (Fig. IV-18, 3 の場合) 同時に 1~4 個の煙塊ができやすく、その濃度は

$$\left\{ \begin{array}{ll} \text{最大} & \text{ほぼ } 1 \\ \text{平均} & 1/4 \end{array} \right. \quad (IV-14)$$

となる。

その他、いろいろな場合が考えられるが、同時にできる煙塊の個数や最大および平均の濃度は、Fig. IV-18 のように幾何学的に求めることができる。

k の値としては、日常の経験により、細い煙突口から多量の煙がでるときは 10, あるいはそれ以上になりそうである。

§ IV-8 まとめ

1. 従来、煙突の煙の地上における濃度の計算には煙のうねりを考えてない。煙が下方へうねったときは煙源がかなり下方へ移ったと同じで、地物は短時間ではあるが、かなり濃い煙にさらされることが期待される。とくに地形の影響で煙がたえずうねって下がってくるような場所では長時間にわたる煙の平均濃度としてもかなり大きな値となろう。

2. 煙突が低いほど、煙がうねらなくても地上で観

測される煙の濃度は大きく、かつ低い煙突の煙はうねりも大きく、いっそう地上における煙の濃度が増すと思われる。すなわち、煙突が低いほど地上における煙の濃度は加速度的に増すことが期待される。

参 考 文 献

1. R.R. Braham, B.K. Seely and W.D. Crozier: A Technique for Tagging and Tracing Air Particles. *Trans. Ameri. Geophys. Union*, 33 (6) 1952. Dec. pp. 825~833
- W.D. Crozier and B.K. Seely. Concentration Distribution in Aerosol Plumes Three to Twenty-Two Miles from a Point Source. *Trans. Ameri. Geophys. Union*, 36. (1)~1955 Feb. p. 24.
2. M.E. Smith, F.E. Bartlett and G.W. Potts. Filter Samplers for Field Use. *Brookhaven National Laboratory*. Upton, L.I. New York. March 31. 1956
3. 木下誠一 飽和水蒸気中における吸湿性粒子の成長速度の測定, 低温科学第 12 集. 昭 29. p. 113~119
4. Air Pollution: Proceedings of the U.S. Technical Conference on Air Pollution. McGraw-Hill 1952. p. 171.
5. H. Fisher and G. Leopoldi; *Angew. Chem.*, 50, 919 (1937)
6. K. Kuroda, *Bull. Chem. Soc. Japan*, 15, 439 (1940)
7. 森田良美 銅及び亜鉛の分量に関する研究 (第 2 報, ジチゾンによる微量の銅及び亜鉛の定量法の改良) 日本化学雑誌, 69. 174. 昭 32.
8. Y. Morita, Distribution of copper and zinc in various phases of the earth materials. *The Journal of Earth Sciences, Nagoya University*. 3. (1) March, 1955. p. 33~57.
9. 小倉義光 気象学講座第 14 巻, 大気乱流論, p. 71
10. O.G. Sutton. *Micrometeorology*, Mc Graw-Hill. p. 137.
11. 石田完, 小林順作, 今井秀雄, 林の周辺における乱流の測定 林業試験場研究報告 64. 89~96 (1953) 森林気象の研究抄録 一煙害防止のために一中央気象台, 原子力研究所 p. 21
12. 前出 10. p. 293.
13. 東海村微気象調査予備観測報告書 1956. 8. 15. 気象庁, 日本原子力研究所 p. 25.
14. 前出 10. p. 291.
15. 前出 10. p. 288.
16. *Meteorology and Atomic Energy*. 1955. p. 54.
17. 前出 16. p. 55.
18. 前出 13. p. 41.
19. 前出 16. p. 53.
20. E. Inoue, 農研報告 A2, p. 93, 1952
21. Y. Takahashi, 戦時研究 6 の 2, 「千島, 北海道の霧の研究」, 昭和 20 年 2 月報告, p. 98~120 (詳しくは近く発表される予定)
22. J. Sakagami, *Nat. Sci. Rept., Ochanomizu Univ.*, 5, p. 79, 1954
23. E. Inoue, 農業気象, 第 11 巻, 4 号 p. 147, 1955
24. Y. Ogura, *J. Met. Soc. Japan*, 31, 53.
25. 前出 10. p. 333, 1952
26. 高橋喜彦 統計理論による渦動拡散の図式解法の検討, 気象集誌 21, 3, p. 130~142, 1943
27. 前出 21. p. 98~120

鐸科資部第2

1. 菸煙觀測資料

第1回発煙観測 2月1日

開始時刻: 14h 57m 00 s	終了時刻: 15h 06m 20 s
発煙点: 地上	発煙時間: 9m 20 s
発煙筒数: 1 kg 3ヶ	毎秒あたりの Zn 量: 2.3 g/sec

濃度の集じん器各々

集じん器番号	発煙点からの距離 (m)	船舶濃度 (γ/m^3)	集じん器番号	発煙点からの距離 (m)	船舶濃度 (γ/m^3)			
1	68	90	4	70	891	7	84	56
2	68	534	5	74	306	8	90	6
3	69	660	6	78	92	9	97	5

料
資
銀
氣

高さ	風向	風速	気温	高さ	風向	風速	気温	天気・雲量・形
(m)		(m/sec)	(°C)	(m)		(m/sec)	(°C)	
30.7	NNE	1.8	5.0	4.9		0.7	5.8	○ 0 Cc
21.5		2.2	5.8	1.5 中英	NE-N	0.1	5.3	
10.3		00	5.7	1.5	NE-N	1.3	6.8	

第2回 癸煙觀測

第2回発煙観測 2月2日

開始時刻: 13h52m00s	終了時刻: 14h21m45s
発煙点: 地上	発煙時間: 29m45s
発煙筒数: 1kg 10ヶ	毎秒あたりのZn量: 2.4g/sec

濃度の集各

集じん器番号	発煙点からの距離 (m)	珪鉛濃度 (γ/m^3)	集じん器番号	発煙点からの距離 (m)	珪鉛濃度 (γ/m^3)
1	50	411	5	131	0
2	63	652	6	155	0.017
3	84	325	7	170	0.18
4	107	152	8	190	

料
資
像
氣

高さ	風向	風速	気温	高さ	風向	風速	気温	天気・雲量・形
(m)		(m/sec)	(°C)	(m)		(m/sec)	(°C)	
30.7	SE	3.8	4.4	4.9		1.1	5.2	○ 1. Sc.
21.5		1.7	5.0	1.5 中央	SE-S	1.8	5.6	
10.3		2.0	5.0	1.5	SE-S	1.7	5.2	

第3回発煙観測 2月2日

開始時刻: 15h 33m00 s	終了時刻: 15h 54m10 s
発煙点: 地上	発煙時間: 21m10 s
発煙筒数: 1 kg 7ヶ	毎秒あたりの Zn 量: 2.4 g/sec

濃度の集じん器

集じん器番号	発煙点からの距離 (m)	発煙濃度 (γ/m^3)	集じん器番号	発煙点からの距離 (m)	発煙濃度 (γ/m^3)
1	145	2	5	110	597
2	127	5	6	114	410
3	117	72	7	120	211
4	111	303	8	131	13

料
資
象
風

高さ	風向	風速	気温	高さ	風向	風速	気温	天気・雲量・形
(m)		(m/sec)	(°C)	(m)		(m/sec)	(°C)	
30.7	S	2.1	4.9	4.9		0.4	5.2	O 0 Sc.
21.5		1.3	5.4	1.5 中央	S	0.8	4.8	
10.3		1.3	5.1	1.5	S	1.1	5.1	

第4回発煙試験

2月3日	終了時刻: 11h 25m 20 s
	発煙時間: 30m 20 s
	毎秒あたりのZn量 2.4 g/sec

各集じん器の濃度

集じん器 番号	発煙点 からの 距離 (m)	発煙度 (γ/m^3)	集じん器 番号	発煙点 からの 距離 (m)	発煙度 (γ/m^3)	集じん器 番号	発煙点 からの 距離 (m)	発煙度 (γ/m^3)
1	205	108	5	178	207	9	169	2
2	197	117	6	174	105	10	169	0.3
3	190	99	7	171	48	11	170	0.3
4	184	178	8	169	13			

気象資料

高さ (m)	風向	風速 (m/sec)	気温 ($^{\circ}C$)	風高 (m)	風向	風速 (m/sec)	気温 ($^{\circ}C$)	天気・雲量・形
30.7	N	3.6	-0.2	4.9		1.3	0.1	⊙ 10 Ns.
21.5		3.2	0	1.5 中央	N	0.8	0.7	
10.3		0.9	0	1.5	N	1.5	0.1	

第5回発煙観測

2月4日

開始時刻: 14h31m00s

終了時刻: 15h02m00s

発煙点: 地上 6.1m

発煙時間: 31m

発煙筒数: 1 kg 10ヶ

毎秒あたりの Zn 量: 2.3 g/sec

各集じん器の濃度

集じん器 番号	発煙点 からの 距離 (m)	発煙度 (γ/m^3)	集じん器 番号	発煙点 からの 距離 (m)	発煙度 (γ/m^3)	集じん器 番号	発煙点 からの 距離 (m)	発煙度 (γ/m^3)
1	227	0.6	5	193	16	9	181	78
2	216	0.7	6	187	26	10	183	51
3	207	0.7	7	183	42	11		
4	199	4	8	181	54			

気象資料

高さ (m)	風向	風速 (m/sec)	気温 ($^{\circ}C$)	風高 (m)	風向	風速 (m/sec)	気温 ($^{\circ}C$)	天気・雲量・形
30.7	NNE	7.4	10.0	4.9		0.7	10.6	⊙ 5 Sc.
21.5		6.9	10.6	1.5 中央	NNE	1.6	9.9	
10.3		2.4	10.3	1.5	NNE	4.4	10.0	

第6回発煙観測

2月4日

開始時刻: 15h23s00m

終了時刻: 15h53m40s

発煙点: 地上 10.2m

発煙時間: 30m40s

発煙筒数: 1 kg 20ヶ

毎秒あたりの Zn 量: 4.8 g/sec

各集じん器の濃度

集じん器 番号	発煙点 からの 距離 (m)	発煙度 (γ/m^3)	集じん器 番号	発煙点 からの 距離 (m)	発煙度 (γ/m^3)	集じん器 番号	発煙点 からの 距離 (m)	発煙度 (γ/m^3)
1	286	2	5	275	73	9	278	23
2	281	9	6	274	71	10	283	6
3	278	26	7	274	70			
4	276	37	8	275	42			

気象資料

高さ (m)	風向	風速 (m/sec)	気温 ($^{\circ}C$)	風高 (m)	風向	風速 (m/sec)	気温 ($^{\circ}C$)	天気・雲量・形
30.7	NNE	8.0	9.5	4.9		3.2	9.8	⊙ 7 CsSc.
21.5		8.4	10.0	1.5 中央	NE	1.6	9.2	
10.3		2.8	9.8	1.5	NE	5.1	9.4	

第7回発煙観測

2月4日

開始時刻: 16h13m00s

終了時刻: 16h11s

発煙点: 地上 19.7m

発煙時間: 36m15s

発煙筒数: 1 kg 20ヶ

毎秒あたりの Zn 量: 4.0 g/sec

各集じん器の濃度

集じん器 番号	発煙点 からの 距離 (m)	発煙度 (γ/m^3)	集じん器 番号	発煙点 からの 距離 (m)	発煙度 (γ/m^3)	集じん器 番号	発煙点 からの 距離 (m)	発煙度 (γ/m^3)
1	286	0	5	275	59	9	279	21
2	281	2	6	274	53	10	283	3
3	278	12	7	274	57			
4	276	23	8	275	30			

各集じん器の濃度

集じん器番号	発煙点の高さ (m)	面船濃度 (γ/m^3)	集じん器番号	発煙点の高さ (m)	面船濃度 (γ/m^3)
6	25	142	8	10	266
5	20	155	9	5	557
4	15	221	7	1.5	720

料
資
象
食

高さ	風向	風速 (m/sec)	気温 (°C)	高さ	風向	風速 (m/sec)	気温 (°C)	天気・雲量・形
30.7	E NE	4.7	10.8	4.9		1.7	11.6	◎ 10 ScAc
21.5		5.4	11.3	1.5 中央		0.8	11.0	
10.3		2.2	11.4	1.5	NE	1.6	10.7	

第10回発煙編列

2月5日	終了時刻: 16h33m10s
開始時刻: 16h00m00s	発煙時間: 33m10s
発煙点: 地上	毎秒あたりのZn量: 26.6g/sec
発煙高: 1kg 30+	

各集じん器の濃度

集じん器番号	発煙点の高さ (m)	集じん器番号	発煙点の高さ (m)	塵鉛濃度 (γ/m^3)	集じん器番号	発煙点の高さ (m)	塵鉛濃度 (γ/m^3)
6	25	3	10	136	8	0.2	851
5	20	7	5	204			
4	15	9	1.5	368			

料
資
象
氣

高さ	風向	風速 (m/sec)	気温 (°C)	高さ	風向	風速 (m/sec)	気温 (°C)	天気・露量・形
30.7	NE	5.0	10.6	4.9		1.7	11.1	◎ 10 AcSc
21.5		4.8	10.9	1.5 中央		0.8	10.4	
10.3		1.7	10.8	1.5	NE	1.6	10.3	

料
資
象
銀

高さ	風向	風速	気温	高さ	風向	風速	気温	天気・雲量・形
(m)		(m/sec)	(°C)	(m)		(m/sec)	(°C)	
30.7	NNE	7.5	8.5	4.9		2.2	8.6	⊗ 8 As
21.5		7.4	8.6	1.5 中央		1.6	8.0	
10.3		1.7	8.5	1.5 NNE		4.9	7.9	

第 8 回発煙額測

2月4日	終了時刻: 17h 25m00 s
	発煙時間: 18m00 s
	発煙点: 地上 1.5m
	発煙箇數: 1 kg 5ヶ
	毎秒あたりの Zn 量: 2.0 g/sec

各集じん器の濃度

集じん器番 号	発塵点 からの 距離	発塵点 からの 距離	集じん器 番号	発塵点 からの 距離	集じん器 番号	発塵点 からの 距離	発塵度 mg/m ³
1	140	1	4	115	7	115	123
2	129	0	5	113	8	120	2
3	121	33	6	112	9	139	0

藥 效 鑑 定

高さ	風向	風速 (m/sec)	気温 (°C)	高さ	風向	風速 (m/sec)	気温 (°C)	天気・雲量・形
30.7	NNE	8.3	7.6	4.9		3.0	7.7	⊗ 10 As
21.5		6.9	7.7	1.5 中央		1.1	7.4	
10.3		2.4	7.6	1.5	NNE	4.8	7.5	

第9回発煙調査

2月5日	
開始時刻: 15h 23m00s	終了時刻: 15h 41m20s
発煙点: 地上	発煙時間: 17m20s
発煙筒数: 1 kg15ヶ	毎秒あたりのZn量: 6.3 g/sec

気象観測資料

高さ (m)	風向	風速 (m/sec)	気温 (°C)	高さ (m)	風向	風速 (m/sec)	気温 (°C)	天気・雲量・形
30.7	NE	6.0	7.4	5		1.5	8.0	⊗ 10 As
21.5		6.1	7.7	1.5 中央		1.2	7.5	
10.3		1.7	7.8	5.1 NE		5.1	7.4	

第13回発煙観測
2月6日
開始時刻: 13h38m00s
終了時刻: 13h49m40s
発煙時間: 11m40s
発煙点: 地上 4m
発煙筒数: 200kg 7ヶ
毎秒あたりの Zn 量: 0.9 g/sec

各集じん器の濃度

集じん器 番号	発煙点 からの 距離 (m)	発煙濃度 (γ/m^3)	集じん器 番号	発煙点 からの 距離 (m)	発煙濃度 (γ/m^3)	集じん器 番号	発煙点 からの 距離 (m)	発煙濃度 (γ/m^3)
1	83	3	5	71	117	9	85	41
2	77	11	6	73	147	10	90	33
3	74	44	7	76	64			
4	72	55	8	80	81			

気象観測資料

高さ (m)	風向	風速 (m/sec)	気温 (°C)	高さ (m)	風向	風速 (m/sec)	気温 (°C)	天気・雲量・形
30.7	NE	5.5	7.5	4.9		2.4	7.9	⊗ 10 As
21.5		4.6	7.7	1.5 中央		1.1	7.5	
10.3		2.0	7.8	4.3 NE		4.3	7.4	

第14回発煙観測
2月6日
開始時刻: 13h58m00s
終了時刻: 14h10m00s
発煙時間: 12m00s
発煙点: 地上 6m
発煙筒数: 200kg 7ヶ
毎秒あたりの Zn 量: 0.8 g/sec

第11回発煙観測

2月6日

開始時刻: 13h10m00s
終了時刻: 13h10m55s
発煙時間: 10m55s
発煙点: 地上
発煙筒数: 200kg 7ヶ
毎秒あたりの Zn 量: 0.9 g/sec

各集じん器の濃度

集じん器 番号	発煙点 からの 距離 (m)	発煙濃度 (γ/m^3)	集じん器 番号	発煙点 からの 距離 (m)	発煙濃度 (γ/m^3)	集じん器 番号	発煙点 からの 距離 (m)	発煙濃度 (γ/m^3)
1	90	5	5	73	98	9	78	170
2	83	12	6	72	165	10	82	15
3	79	31	7	73	275			
4	75	28	8	75	177			

気象観測資料

高さ (m)	風向	風速 (m/sec)	気温 (°C)	高さ (m)	風向	風速 (m/sec)	気温 (°C)	天気・雲量・形
30.7	NE	5.5	7.4	4.9		1.7	7.9	⊗ 10 As
21.7		4.2	7.6	1.5 中央		1.1	7.7	
10.3		2.0	7.8	4.6 NE		4.6	7.5	

第12回発煙観測

2月6日

開始時刻: 13h18m00s
終了時刻: 13h29m25s
発煙時間: 11m25s
発煙点: 地上 2m
発煙筒数: 200kg 7ヶ
毎秒あたりの Zn 量: 0.9 g/sec

各集じん器の濃度

集じん器 番号	発煙点 からの 距離 (m)	発煙濃度 (γ/m^3)	集じん器 番号	発煙点 からの 距離 (m)	発煙濃度 (γ/m^3)	集じん器 番号	発煙点 からの 距離 (m)	発煙濃度 (γ/m^3)
1	83	3	5	71	161	9	85	17
2	77	15	6	73	121	10	90	4
3	74	63	7	76	117			
4	72	149	8	80	141			

各集じん器の濃度

集じん器 番 号	発煙点 からの 距離 (m)	発煙濃度 (γ/m^3)	集じん器 番 号	発煙点 からの 距離 (m)	発煙濃度 (γ/m^3)	集じん器 番 号	発煙点 からの 距離 (m)	発煙濃度 (γ/m^3)
(No.)	(m)	(γ/m^3)	(No.)	(m)	(γ/m^3)	(No.)	(m)	(γ/m^3)
1	83	59	5	71	127	9	85	6
2	76	45	6	73	58	10	90	1
3	74	74	7	70	36			
4	72	156	8	80	3			

気 象 観 測 資 料

高 さ	風 向	風 速	気 温	高 さ	風 向	風 速	気 温	天 気・雲 量・形
(m)	(m/sec)	(m/sec)	($^{\circ}\text{C}$)	(m)	(m/sec)	(m/sec)	($^{\circ}\text{C}$)	
30.7	NE	5.0	7.5	4.9		2.0	7.8	⊗ 10 As
21.5		5.4	7.5	1.5 中 央		1.0	7.4	
10.3		2.2	7.7	1.5	NNE	2.1	7.4	

第15回発煙観測
2月6日
開始時刻: 14h29m00s
終了時刻: 14h36m15s
発煙時間: 7m15s
発煙点: 地上
発煙筒数: 1kg 7ヶ
毎秒あたりの Zn 量: 2.0 g/sec

各集じん器の濃度

集じん器 番 号	発煙点 からの 距離 (m)	発煙濃度 (γ/m^3)	集じん器 番 号	発煙点 からの 距離 (m)	発煙濃度 (γ/m^3)	集じん器 番 号	発煙点 からの 距離 (m)	発煙濃度 (γ/m^3)
(No.)	(m)	(γ/m^3)	(No.)	(m)	(γ/m^3)	(No.)	(m)	(γ/m^3)
1	83	1	5	71	621	85	85	17
2	77	10	6	73	580	90	90	3
3	74	39	7	76	490			
4	72	307	8	80	6			

気 象 観 測 資 料

高 さ	風 向	風 速	気 温	高 さ	風 向	風 速	気 温	天 気・雲 量・形
(m)	(m/sec)	(m/sec)	($^{\circ}\text{C}$)	(m)	(m/sec)	(m/sec)	($^{\circ}\text{C}$)	
30.7	NNE	4.7	7.3	4.9		1.7	7.5	⊗ 10 As
20.5		8.0	7.4	1.5 中 央		0.9	7.1	
10.3		2.6	7.6	1.5	NE	1.3	7.3	

第16回発煙観測

2月6日

開始時刻: 14h44m00s
終了時刻: 14h51m00s
発煙時間: 7m00s
発煙点: 地上
発煙筒数: 1kg 2ヶ
毎秒あたりの Zn 量: 2.1 g/sec

各集じん器の濃度

集じん器 番 号	発煙点 からの 距離 (m)	発煙濃度 (γ/m^3)	集じん器 番 号	発煙点 からの 距離 (m)	発煙濃度 (γ/m^3)	集じん器 番 号	発煙点 からの 距離 (m)	発煙濃度 (γ/m^3)
(No.)	(m)	(γ/m^3)	(No.)	(m)	(γ/m^3)	(No.)	(m)	(γ/m^3)
1	67	363	5	52	968	9	68	4
2	60	695	6	54	331	10	74	9
3	56	1,447	7	58	67			
4	53	1,613	8	62	87			

気 象 観 測 資 料

高 さ	風 向	風 速	気 温	高 さ	風 向	風 速	気 温	天 気・雲 量・形
(m)	(m/sec)	(m/sec)	($^{\circ}\text{C}$)	(m)	(m/sec)	(m/sec)	($^{\circ}\text{C}$)	
30.7	NNE	4.7	7.3	4.9		0.9	7.5	⊗ 10 As
21.5		2.6	7.3	1.5 中 央		0.6	7.1	
10.3		0.9	7.5	1.5	NNE	2.2	7.2	

第17回発煙観測
2月6日
開始時刻: 15h00m00s
終了時刻: 15h06m10s
発煙時間: 6m10s
発煙点: 地上
発煙筒数: 1kg 2ヶ
毎秒あたりの Zn 量: 2.4 g/sec

各集じん器の濃度

集じん器 番 号	発煙点 からの 距離 (m)	発煙濃度 (γ/m^3)	集じん器 番 号	発煙点 からの 距離 (m)	発煙濃度 (γ/m^3)	集じん器 番 号	発煙点 からの 距離 (m)	発煙濃度 (γ/m^3)
(No.)	(m)	(γ/m^3)	(No.)	(m)	(γ/m^3)	(No.)	(m)	(γ/m^3)
1	54	9	5	33	2,183	9	54	2
2	46	21	6	35	37		61	5
3	39	1,157	7	40	56			
4	34	4,324	8	46	6			

時刻	地上より の高さ		30.7m		21.5m		10.3m		4.9m		百葉箱	
	風向	風速 m/sec	気温 °C	風速 m/sec	気温 °C	風速 m/sec	気温 °C	風速 m/sec	気温 °C	風速 m/sec	気温 °C	湿度 %
1	NW	5.0	-0.6	5.4	-0.7	—	-1.2	2.2	-1.1	—	—	66
2	NW	5.2	-0.7	4.6	-0.9	—	-1.2	1.7	-1.4	—	—	—
3	NNW	5.2	-0.1	(6.9)	-0.2	—	-0.6	3.0	-0.5	—	—	—
4	NW	4.9	-0.1	(4.2)	-0.7	—	-1.1	2.2	-1.3	—	—	—
5	NW	4.9	-1.5	(3.4)	-1.6	—	-2.4	1.3	-2.3	—	—	—
6	NW	3.2	-1.0	(2.0)	-1.8	—	-3.3	0.0	-3.9	—	—	—
7	NNE	2.2	0.4	(2.2)	-1.1	—	-2.2	0.4	-4.2	—	—	—
8	NNE	4.9	1.2	(5.2)	0.8	—	1.0	2.6	1.2	—	-1.5	—
9	NE	3.5	2.0	(5.0)	2.4	—	2.4	2.2	2.7	—	-1.4	—
10	NE	2.7	3.3	3.8	3.0	1.5	3.7	1.3	3.4	3.1	4.3	—
11	N	1.6	3.6	2.0	4.2	1.7	4.4	0.4	5.2	4.2	3.4	—
12	E	1.5	4.4	1.7	4.8	1.3	4.9	0.4	5.4	5.1	3.5	—
13	ESE	4.4	4.0	(2.4)	5.2	3.8	5.0	1.3	5.8	6.0	3.6	—
14	SE	3.7	4.6	2.0	5.7	2.2	5.0	0.9	5.7	5.7	3.8	—
15	SE	2.1	4.9	1.7	6.2	2.2	5.6	1.3	5.6	5.8	3.6	—
16	S	0.8	4.7	(1.1)	5.4	0.4	4.5	0.9	5.2	5.1	3.6	—
17	NNW	4.9	3.1	(4.0)	4.0	2.0	3.0	1.7	3.9	3.5	3.6	—
18	N	1.9	1.3	1.5	1.3	0.0	0.9	0.0	1.4	1.7	4.4	—
19	NW	1.3	0.7	(2.2)	0.5	0.0	-0.2	0.4	-0.5	-0.4	5.0	—
20	NW	2.2	0.0	(2.2)	-0.4	0.0	-1.0	0.9	-0.8	-1.8	5.5	—
21	NW	4.1	-0.4	(4.0)	-0.5	0.0	-1.0	1.7	-0.7	-2.1	5.8	—
22	NW	3.8	-0.8	2.8	-1.0	0.0	-1.4	1.1	-1.3	-2.2	6.0	—
23	NW	3.8	-0.8	(1.3)	-1.2	0.0	-1.5	(1.3)	-1.5	-2.9	—	—
24	NNW	2.6	-1.4	2.6	-1.3	0.0	-2.1	2.2	-1.6	-2.8	—	—

2月2日

気象資料

高さ (m)	風向	風速 (m/sec)	気温 (°C)	高さ (m)	風向	風速 (m/sec)	気温 (°C)	天気・雲量・形
30	NNE	4.1	7.2	5		1.7	7.6	⊗ 10 As
20		3.4	7.3	1.5 中央		1.1	7.1	
10		1.3	7.4	1.5	NNE	2.2	7.1	

2. 気象観測資料

2月1日

時刻	地上より の高さ 要案	30.7m				21.5m				10.3m				4.9m				百葉箱	
		風向	風速 m/sec	気温 °C	湿度 %	風速 m/sec	気温 °C	湿度 %	風速 m/sec	気温 °C	湿度 %	風速 m/sec	気温 °C	風速 m/sec	気温 °C	湿度 %	風速 m/sec	気温 °C	湿度 %
1																			
2																			
3																			
4																			
5																			
6																			
7																			
8																			
9																			
10																			
11																			
12																			
13	NNW	1.5	4.4											1.7					
14	N	1.4	4.7											2.4	5.4				
15	NNW	2.1	4.8											1.7	5.6				
16	—	0.0	4.9											0.9	5.7				
17	WSW	0.0	3.6											0.0	5.2				
18	NNW	2.7	2.8											0.0	3.1				
19	NNW	3.7	2.2											1.6	2.0				
20	NNW	3.9	1.6											1.3	1.3				

2月4日

地上より の高さ 展 示 時刻	30.7m			21.5m		10.3m		4.9m		百葉箱	
	風向	風速 m/sec	気温 °C	風速 m/sec	気温 °C	風速 m/sec	気温 °C	風速 m/sec	気温 °C	風速 m/sec	湿度 %
1	NW	5.3	4.0	6.7	3.9	3.8	3.9	2.6	3.9	4.3	98
2	NW	5.1	3.2	3.4	3.0	1.7	2.7	2.8	3.2	2.6	98
3	NW	5.0	3.2	4.6	3.5	2.2	2.8	3.0	3.4	2.1	97
4	NW	4.5	3.3	2.2	3.3	2.0	2.8	2.2	3.1	2.0	98
5	NW	4.5	3.0	2.6	3.4	0.9	2.6	0.9	3.1	1.7	98
6	NNW	3.8	3.3	4.6	3.4	2.2	2.7	3.0	3.3	1.8	92
7	NNW	4.4	4.2	4.0	4.2	1.7	3.5	2.2	4.0	1.9	92
8	NNW	3.9	6.0	5.4	5.9	2.0	5.4	3.0	6.2	4.1	88
9	NNW	4.0	7.2	4.0	8.0	1.7	7.0	2.2	8.0	6.9	77
10	NW	5.8	8.8	5.7	9.0	2.0	9.0	5.0	9.2	9.0	67
11	NNW	4.7	9.0	3.8	9.6	1.7	9.5	1.7	9.8	9.1	67
12	NNE	8.2	10.8	8.4	11.2	3.0	11.4	3.0	11.4	10.5	59
13	NNE	7.0	10.0	7.6	10.9	3.4	10.6	1.3	11.0	10.1	60
14	NNE	7.2	10.8	5.0	11.2	2.2	11.2	0.0	11.4	10.2	59
15	NNE	7.4	9.6	6.5	10.1	2.6	10.2	0.0	11.1	9.8	60
16	NNE	7.8	9.4	9.1	10.0	2.6	9.5	3.8	9.7	8.9	64
17	NNE	9.3	8.2	9.3	8.6	3.4	8.2	2.2	8.6	7.7	69
18	NNE	4.9	7.8	5.2	7.7	1.7	7.8	2.2	7.7	7.2	69
19	NNE	5.8	9.4	5.4	7.2	2.0	7.5	2.6	7.2	6.9	70
20	NNE	5.6	7.5	6.9	7.4	2.0	7.5	1.7	7.4	6.7	71
21	WNW	2.6	5.5	3.4	5.3	2.0	5.7	1.7	5.3	6.1	75
22	NNW	2.7	5.1	1.3	4.7	0.7	5.1	0.9	4.7	4.9	83
23	NW	1.4	4.8	2.2	4.1	0.9	4.7	0.9	4.0	4.1	88
24	WNW	3.1	4.2	2.0	4.1	1.1	4.2	0.9	4.1	3.3	92

2月3日

地上より の高さ 展 示 時刻	30.7m			21.5m		10.3m		4.9m		百葉箱	
	風向	風速 m/sec	気温 °C	風速 m/sec	気温 °C	風速 m/sec	気温 °C	風速 m/sec	気温 °C	風速 m/sec	湿度 %
1	NNW	3.2	-2.0	2.6	-2.1	0.0	-2.7	0.9	-2.5	-3.2	—
2	NW	3.2	-2.2	(1.7)	-2.3	0.0	-2.7	1.7	-2.5	-3.3	—
3	NW	3.2	-2.6	2.0	-2.9	0.0	-3.1	0.9	-3.3	-3.7	—
4	N	2.5	-1.7	2.6	-2.4	0.0	-2.5	0.7	-2.7	-3.5	—
5	NNE	3.5	0.7	3.8	-0.3	0.0	-0.7	1.1	-0.8	-2.0	—
6	NNW	2.9	2.2	3.0	-2.3	0.0	-2.4	1.7	-2.3	-1.8	—
7	NNE	3.0	0.2	1.5	-1.0	0.0	-0.4	0.4	-1.8	-2.5	—
8	NE	5.2	1.2	4.2	1.3	1.3	1.2	2.2	1.3	0.6	—
9	N	3.1	1.6	3.0	1.5	1.7	1.6	1.3	1.5	1.0	—
10	NE	3.6	1.3	3.0	1.7	0.7	1.3	0.9	1.7	1.3	83
11	NNE	3.8	0.6	3.8	0.9	1.3	0.7	1.7	0.9	0.2	99
12	NNW	1.8	0.6	2.2	0.7	0.7	0.8	0.0	0.9	0.3	100
13	NNW	3.0	1.4	2.6	1.7	0.9	1.4	0.0	1.7	0.7	100
14	NNW	1.3	1.0	1.1	—	0.0	1.0	0.0	—	0.6	100
15	NE	5.5	2.0	6.5	2.4	1.3	1.9	1.7	2.4	1.1	100
16	NNE	5.3	2.3	5.4	2.1	2.4	2.0	2.2	2.1	1.2	100
17	NNE	6.0	2.2	(6.1)	2.5	2.4	2.0	2.4	2.5	1.2	100
18	NNE	7.5	2.6	(5.7)	2.9	2.6	5.5	3.2	2.9	1.7	99
19	NNE	7.3	3.3	(8.7)	3.4	3.0	3.0	3.0	3.4	1.9	98
20	N	4.0	4.4	(5.0)	4.5	1.7	3.9	2.2	4.3	2.5	97
21	NNE	5.1	4.6	(3.8)	4.8	1.5	4.2	1.1	4.5	2.8	98
22	N	4.2	5.4	(3.0)	5.4	1.1	4.7	1.7	5.2	3.6	98
23	NE	6.8	5.2	(4.6)	5.4	1.7	4.9	1.3	5.4	4.0	98
24	NNE	5.7	5.2	(7.6)	5.4	2.8	4.7	2.4	5.4	3.8	98

2月6日

時刻	地上より の高さ m	30.7m			21.5m			10.3m			4.9m			百葉箱	
		風向	風速 m/sec	気温 °C	風速 m/sec	気温 °C	風速 m/sec	気温 °C	風速 m/sec	気温 °C	風速 m/sec	気温 °C	湿度 %	気温 °C	湿度 %
1	—	—	—	6.5	1.7	6.2	0.0	6.4	0.0	6.1	0.0	5.7	70	—	—
2	—	—	—	6.6	2.2	6.4	0.0	6.3	0.0	6.1	0.0	5.6	67	—	—
3	—	—	—	6.2	1.7	6.3	0.0	6.1	0.0	6.1	0.0	5.4	67	—	—
4	—	—	—	6.2	3.4	6.1	0.4	6.0	1.3	6.1	1.3	5.3	64	—	—
5	—	—	—	6.2	3.4	6.2	1.3	6.2	1.7	6.2	1.7	5.5	—	—	—
6	—	—	—	5.8	3.8	5.7	1.5	5.8	(1.7)	5.7	5.3	5.1	55	—	—
7	—	—	—	5.6	6.5	5.5	2.2	5.6	2.2	5.5	2.2	4.9	56	—	—
8	—	—	—	5.5	5.4	5.3	1.7	5.6	(2.2)	5.4	4.9	4.9	57	—	—
9	—	—	—	5.5	5.4	5.5	1.1	5.7	2.2	5.6	2.2	5.5	5.7	—	—
10	—	—	—	6.0	2.2	5.9	1.3	6.3	1.3	6.0	1.3	6.2	54	—	—
11	—	—	—	6.7	—	6.8	1.3	7.1	1.3	7.3	1.5	6.4	55	—	—
12	NE	5.1	6.9	7.5	5.2	7.1	1.3	7.3	1.5	7.9	1.5	6.8	53	—	—
13	NE	5.4	7.5	7.7	5.7	7.7	1.7	7.9	1.7	7.8	1.7	6.7	51	—	—
14	NE	4.4	7.4	7.4	6.1	7.5	2.2	7.7	2.2	7.6	1.7	6.6	51	—	—
15	NNE	3.5	7.2	7.2	4.4	7.3	1.5	7.4	1.5	7.1	1.3	6.5	57	—	—
16	NNE	2.6	7.0	7.0	2.6	7.1	0.4	7.2	0.4	6.9	1.3	6.2	60	—	—
17	NNE	3.3	6.8	6.8	3.4	6.6	0.4	6.9	0.4	6.0	1.3	5.7	—	—	—
18	NNE	2.4	6.4	6.4	3.6	6.0	1.3	6.4	1.3	6.0	1.7	5.3	—	—	—
19	NNE	5.2	6.0	6.0	4.6	5.7	1.5	6.0	1.5	5.6	1.3	5.1	—	—	—
20	NNE	5.1	5.5	5.5	(3.6)	5.4	1.5	5.6	1.5	5.4	0.7	5.0	—	—	—
21	NNE	5.3	5.4	5.4	(4.4)	5.1	2.0	5.4	2.0	4.9	2.6	4.8	—	—	—
22	NNE	5.3	5.1	5.1	5.9	4.9	2.2	5.3	2.2	5.1	3.4	4.7	—	—	—
23	NNE	6.6	5.0	5.0	(3.2)	4.7	2.8	5.1	2.8	4.8	3.4	4.5	—	—	—
24	NNE	6.0	4.7	4.7	(7.1)	4.5	2.6	4.8	2.6	4.4	—	—	—	—	—

2月6日

時刻	地上より の高さ m	30.7m			21.5m			10.3m			4.9m			百葉箱	
		風向	風速 m/sec	気温 °C	風速 m/sec	気温 °C	風速 m/sec	気温 °C	風速 m/sec	気温 °C	風速 m/sec	気温 °C	湿度 %	気温 °C	湿度 %
1	NW	2.7	4.7	4.2	2.8	4.7	1.1	4.2	1.1	4.2	1.1	3.5	89	—	—
2	NW	1.9	4.5	4.3	1.7	4.3	0.4	4.5	0.9	4.3	0.9	3.6	89	—	—
3	NW	2.4	4.8	4.7	2.2	4.7	1.1	4.8	0.9	4.7	0.9	3.7	89	—	—
4	NW	2.7	4.9	4.7	2.4	4.7	1.1	4.9	1.7	4.7	1.7	3.7	89	—	—
5	NW	1.4	4.7	4.7	2.6	3.5	1.1	4.7	0.9	3.5	0.9	3.8	89	—	—
6	NW	3.1	3.6	3.2	3.8	3.2	0.0	3.6	0.9	3.2	0.9	3.0	93	—	—
7	NW	3.1	3.5	3.8	1.7	3.6	0.4	3.6	0.9	3.9	0.9	2.6	95	—	—
8	NW	3.8	4.4	4.6	3.2	4.7	1.7	4.7	1.7	4.7	1.7	3.4	90	—	—
9	NW	3.1	6.5	4.0	7.1	6.8	2.4	6.8	2.2	7.3	2.2	5.1	82	—	—
10	NW	2.6	7.7	8.7	8.7	8.2	1.7	8.2	—	9.3	7.6	7.4	74	—	—
11	NNW	0.8	10.0	10.8	1.7	10.7	0.9	10.7	—	11.5	9.5	6.5	65	—	—
12	E	2.6	10.8	12.0	2.2	12.0	2.6	12.0	—	12.7	11.1	6.3	62	—	—
13	E	2.5	11.2	11.8	3.8	11.8	2.6	11.8	—	12.7	11.6	6.2	62	—	—
14	ENE	3.4	11.8	12.6	2.6	12.5	1.7	12.5	1.7	13.3	11.7	6.5	73	—	—
15	ENE	4.3	11.4	11.7	5.0	11.7	2.0	12.2	2.2	12.1	11.6	6.5	73	—	—
16	NE	4.6	10.6	11.1	5.0	10.8	1.3	10.8	1.3	10.9	10.4	6.8	66	—	—
17	NE	3.9	10.5	10.9	5.4	10.7	1.5	10.7	1.3	10.1	10.2	6.0	69	—	—
18	N	2.2	9.0	10.1	5.4	10.1	1.5	9.0	1.7	10.1	10.2	6.1	69	—	—
19	NE	3.3	8.7	9.4	2.2	9.4	0.9	8.7	0.9	9.4	9.1	6.2	62	—	—
20	NNE	5.3	7.8	8.7	4.6	8.7	1.5	7.8	1.7	8.7	8.4	6.3	65	—	—
21	NNE	3.9	7.0	7.7	(3.0)	7.7	1.5	7.0	1.7	7.7	7.7	6.6	66	—	—
22	NNE	4.3	7.0	6.9	(3.4)	6.9	1.3	7.0	2.2	6.9	(1.3)	6.0	69	—	—
23	NNE	3.8	6.4	6.9	4.6	6.9	0.9	6.4	—	6.3	—	—	—	—	—
24	—	2.2	6.3	6.2	2.6	6.2	0.0	6.3	(0.9)	6.1	—	—	—	—	—

