

# 中讃地域内陸部における海陸風循環特性 と光化学オキシダントについて(第3報)

Photochemical Oxidants and Characteristics of Sea  
and Land Breezes Circulation above the Inlands in  
Chusan Area (Ⅲ)

岩崎 幹男 中野 智 山本 務 木村 正樹  
Mikio IWASAKI Satoru NAKANO Tsutomu YAMAMOTO Masaki KIMURA

森下 玲子 藤岡 博文 美澤 誠  
Reiko MORISHITA Hirofumi FUJIOKA Takeshi MIZAWA

これまでの中讃地域調査のまとめとして、57年度は5月と8月に中讃地域の島しょ部から山岳部に到る全域で光化学オキシダント高濃度出現状況を汚染質と気象から調査した。また臨海部には標高60mに、山岳部では標高1,043mに特別観測地点を設け立体的な調査も行った。その結果、海風の侵入域は満濃付近までであること、海陸風の循環が行なわれる大気の安定した日には内陸部、島しょ部のオキシダント濃度は高く、広域化しやすいこと、臨海部のオキシダントは一次汚染質による分解作用が大きいこと、標高1,043mの大川山ではO<sub>3</sub>濃度は高く、地上と同様の日変化を示すが夜間から早朝にかけても破壊されることなく滞留していること等が得られた。

## はじめに

光化学大気汚染についての調査研究は全国各地で行われている。それらの報告によると汚染質の規模や気象条件、地形等が複雑に作用するために地域により発生状況は異なる。

本県では中讃地域においてそれらを把握するため昭和53～54年には島しょ部と臨海部で、昭和55～57年度には臨海部と内陸部で瀬戸内地域特有の海陸循環風と光化学オキシダントの発生機構について調査してきた。

本年度は内陸部の最終年度であり過去の結果を踏まえ、5月と8月に中讃地域全域において次の目的で調査を行った。

- 1 島しょ部から山岳部にかけて海岸線からほぼ垂直線上に複数の特別観測地点を設け、汚染質の分布状態を把握する。
  - 2 地上風及び上層風、上空温度等を観測し、気象状態を把握する。
  - 3 上記の結果より汚染質の輸送の過程及びオキシダントの発生機構を推察する。
- 以上の結果について報告する。

## 調査方法

### 1. 調査期間

昭和57年5月25～27日、8月24～25日

### 2. 調査地点

図1の地点で実施した。

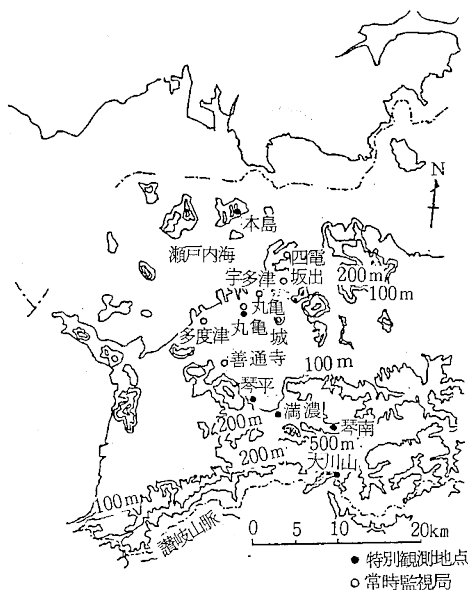


図1 調査地点図

地域は島しょ部、臨海部、内陸部、山岳部の4地域に分け各地域における地点名、略称名を下記に示す。

島しょ部：本島

臨海部：四電坂出力発電所（四電），坂出保健所（坂出保），宇多津町役場（宇多津），丸亀市役所（丸亀），標高60mの丸亀城，城坤小学校（城坤），多度津町役場（多度津）

内陸部：善通寺市役所（善通寺），琴平保健所（琴平），満濃南小学校（満濃），琴南西小学校（琴南）

山岳部：標高1,043 mの大川山の頂上（大川山）

### 3. 調査項目

大気汚染物質：Ox, O<sub>3</sub>, NO, NO<sub>2</sub>

気象要素：地上風，地上温湿度，日射量，降雨量，上層風，上空温度

上記の項目の調査地点，測定方法，測定時間は表1，表2に示した。

### 4. 本調査に用いた主な解析手法

- 1) ベラミー法による地上水平発散量
- 2) 地上風の調和解析
- 3) 地上気圧傾度力
- 4) 汚染質の最短距離法によるクラスター分析

上記の具体的な算出方法は本県所報の第6号に掲載しているのでここでは省略する1)。

表1 大気汚染物質調査

調査項目	調査方法	測定地点		調査期間	測定時間
オキシダント	2%中性ヨウ化カリウム法による自動測定機	臨海部	宇多津 丸亀城 城坤 多度津	5, 8月	1~24時
		内陸部	善通寺 満濃 琴南		
オゾン	紫外線吸収法による自動測定機	島しょ部	本島		
		臨海部	丸亀城		
		山岳部	大川山		
窒素酸化物	ザルツマン法による自動測定機 (係数0.84) (酸化率70%)	島しょ部	本島		
		臨海部	宇多津 丸亀城 城坤 多度津		
		内陸部	善通寺 満濃 琴南		
		ケミルミネッセンス法による自動測定機	臨海部	丸亀城	
		山岳部	大川山		

表2 気象調査

調査項目		調査方法	測定地点		調査期間	測定時間
上空気象	高度2,000 mまでの風向風速	パイボールによる一点観測法 (上昇率100m/40s)	島しょ部	本島	5, 8月	9時より 昼夜連続 3時間おき
	高度2,000 mまでの気温	低層ラジオゾンデ	内陸部	琴平		
	高度200 mの風向風速	高煙突に設置した風向風速計	島しょ部	本島		
地上気象	地上の風向風速	風車型微風向風速計	臨海部	宇多津 丸亀城 城坤 多度津	5, 8月	1~24時
			内陸部	善通寺 満濃 琴南		
			山岳部	大川山		
			日射量	エプリー式全天日射計		
	雨量	転倒ます型雨量計				

# 結果及び考察

## 1. 5月の調査

### 1) 天気概況

3日間共に移動性高気圧に覆われた。日本気象協会による12種の天気図の分類<sup>2)</sup>によると25日から順にH5, H4, H5であり、特に25日は大型高気圧の後部に位置し穏やかな一日であった。27日は東京都内の中学校で4年ぶりに集団光化学被害が発生していた。(表3)

### 2) 気象概況

表3に示すように気温、日射量、地上気圧傾度力は3日間ともオキシダントが高濃度になる条件を満たしている<sup>1)</sup>。また地上温度と海水温度は図11に示すように25日は3～6時に逆転しているが、26, 27日は25日のように顕著ではなかった。

### 3) 海陸風

中讃地域は海の25km背面には1,000m級の山脈があり局地風である海陸風の循環は起こりやすい。この循環がオキシダント高濃度現象に重要な役割を果していることは従来から指摘している<sup>3)</sup>。5月の調査期間中は3日間共に海陸風の交替が行われた。交替時間は地域差はなく8時頃であった。また海風の吹走時間、規模は重要であり、5月の調査では25日が海風の持続時間としては最も長く15時過ぎまで見られた。侵入域は図14に示す調和解析から推察すると、普通時のベクトル平均値の方向と大きさ及び、1日周期成分円の大きさと偏平率は臨海部とほぼ同様であり海風の勢力は強く、さらに内陸部の満濃の風は観測できなかったが、琴平の10時の上層風、26日午前の満濃の風系から推察すると海風は地形の影響を受け弱まりながら満濃付近にまで及んでいるものと思われる<sup>4)</sup>。

海風の高さは本島、四電、琴平の観測結果から推測すると本島では200m、琴平では500～700mと考えられる<sup>5)</sup>。Ox高濃度日であった25日の9時と16時の地上風の水平分布と水平発散量を図2に示す。

### 4) 鉛直拡散場(図3)

25日9時の上空1,000mまでの平均気温減率は0.50°C/100mと低く大気は安定しており、日中の上空逆転層は1,000m前後に形成され中規模スケールの拡散場であった。夜間から早朝にかけて接地逆転層が形成されていた。26日9時の平均気温減率は0.65°C/100mで大気は前日よりも不安定になり、上空の逆転層も9時には800mに見られたが午後からは1,700m以上とスケールの大きな拡散場となった。夜間には強い接地逆転層が形成され、27日3時には3.8°Cの逆転を記録した。27日の午前中の大気安定度、混合層の高さは25日とほぼ同様であった。

### 5) 上層風(図3)

本島では25～26日の午前中にかけて風速は2～3m/sと弱くスパイラル状の風系が観測された。26日の午後からはW系の卓越風が吹き27日の午前中まで続いていた。琴平では本島よりも風速は弱く、25, 26日の午前中は上空500～700mまで海風が支配的であった。26日の午後から本島と同様なW系の風が吹走したが、夜になって下層では風速は弱まり、風向もWからややS寄りに変わった。内陸部の上層風は島しょ部に比較すると地形の影響は大きく複雑であった。

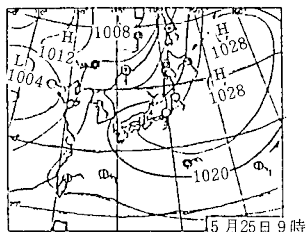
### 6) 事例日の解析

5月25日：Ox最高値 丸亀城91ppb

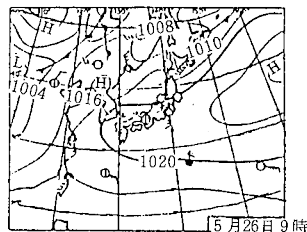
気象状態は上記の通り調査期間中最も安定しており午後の地上エリア別水平発散量は全地域において収束域であった。Ox濃度は高く、臨海部の地上局を除くすべて

表3 5月の気象要因一覧表

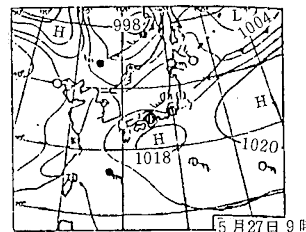
項目 調査日	地上天気図 による気圧 配置	最高温度 (°C)	平均温度 (°C)	平均湿度 (%)	地上気圧 傾度力 (mb/10km)	四電風速(m/s)		日射量 (MJ/日)	1,000mまで の9時の平均 気温減率 (°C/100m)
						最高	平均		
5月25日	図A H5	25.6	20.2	73	0.088	4.8	2.1	24.3	0.50
5月26日	図B H4	28.1	21.4	65	0.063	8.2	3.5	27.2	0.65
5月27日	図C H5	27.4	22.1	62	0.054	7.5	4.8	26.4	0.52



図A



図B



図C

の地域において80ppb以上の値を示した。NOxは島しょ部、臨海部で高く丸亀ではNO<sub>2</sub>濃度が54ppbであった。大気が安定すると発生源が集中している臨海部ではNOx濃度が高くなりOxは一次汚染質による分解作用が大きいことがわかる。このことは丸亀とほぼ同じ地点で

60m高さに位置する丸亀城がこの日の最高値であり、図4に示すように両地点のNOxとOxは反比例の傾向を示していることから推測できる。島しょ部もNOxは高濃度であるが臨海部とはパターンが異なり、午後からは臨海部とは逆に濃度が下がっており、その結果Oxは上

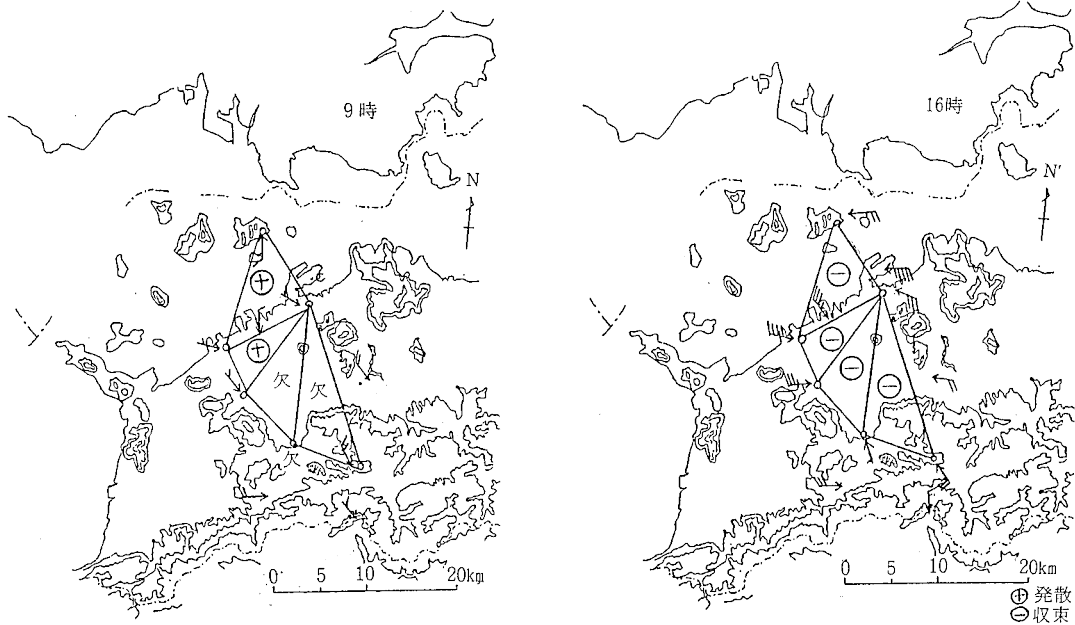


図2 5月25日9時と16時の地上風と水平発散量

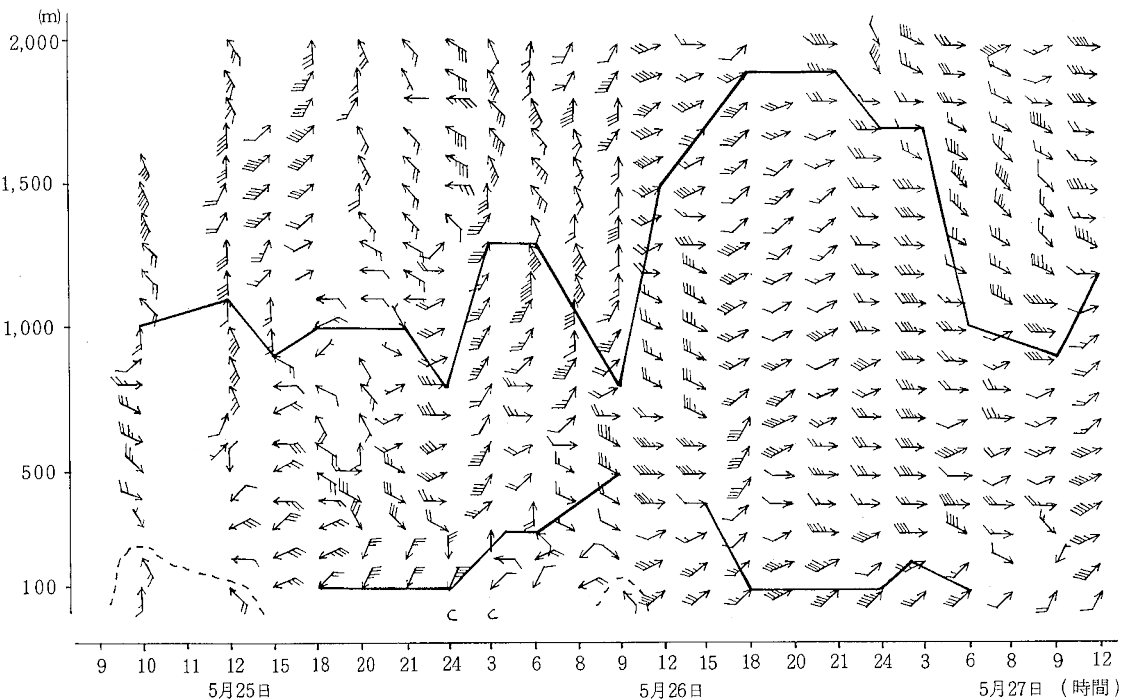


図3 5月本島の上層風と逆転層

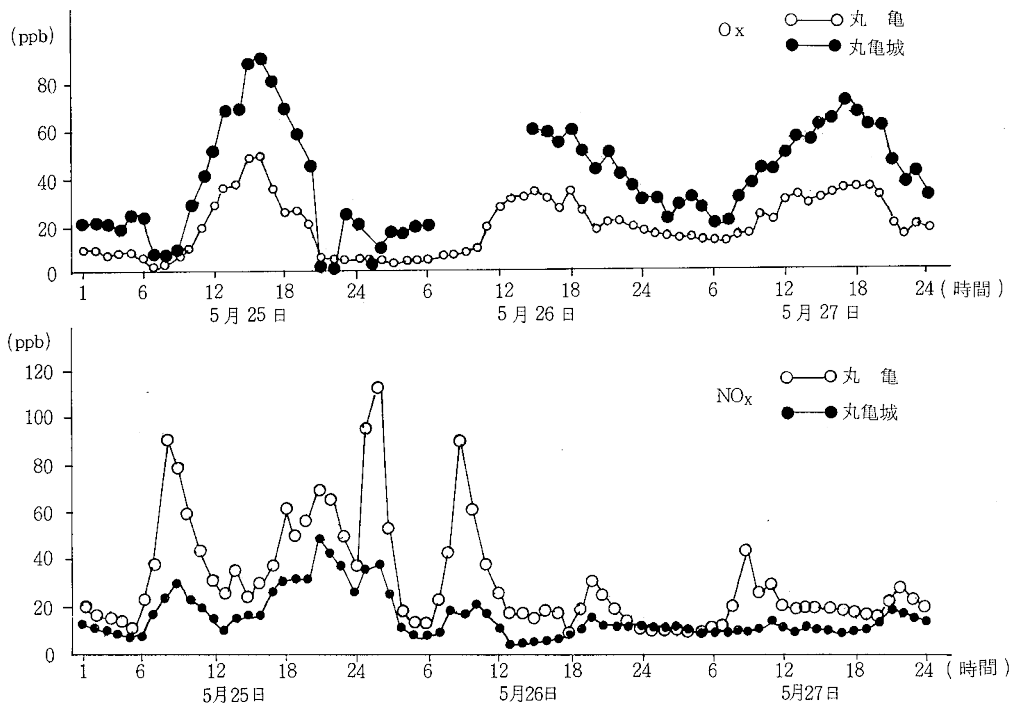


図4 丸亀と丸亀城のO<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>濃度比較

昇したものと思われる。内陸部では調和解析から推察すると海風の支配が強い普通寺，山谷風の影響をうける琴南，その中間に位置する満濃とそれぞれに地形的な特徴が見られるが，3地点共にO<sub>3</sub>の日最高値80ppb以上を示した。NO<sub>x</sub>は山岳部に近づくにつれて低濃度となり琴南では10ppb以下の値を示した。大川山の風は明瞭な日変化を示し，温湿度は図10に示すように地上局と比較すると日変化は小さい。O<sub>3</sub>濃度は高く夜間においても分解されることなく滞留しているものと考えられる。早朝に87ppbの値を記録しているがこれは前日の日中濃度が112ppbの高濃度であった事に起因する。午前8～9時に濃度が急激に減少しているがこのことは斜面流による風場の変化が考えられる。<sup>6)</sup> NO<sub>x</sub>濃度はほとんど検出限界値であったが日中わずかにピークが検出された。

5月26日 O<sub>3</sub>最高値 大川山79ppb

図3に示すように夜間から早朝に鳥しよ部には接地逆転層が形成されていた。臨海部では1～2時にNO, NO<sub>2</sub>共に日最高値を示しており，接地層では大気の強い安定が考えられた。臨海部，内陸部のO<sub>3</sub>は午前中まで前日とほぼ同様の上昇を見せるが午後からWの卓越風の影響で大気は不安定となりはじめO<sub>3</sub>濃度は横ばいの状態で，25日と比較するとかなり低い値となった。前日とほぼ同じ値を示しているのは本島のみであった。大川山のO<sub>3</sub>

ピークは三山型で日最高値の時間は21時であった。上空ではO<sub>3</sub>汚染気塊の移送が考えられた。琴南と大川山のO<sub>3</sub>濃度を図5に示す。

5月27日 O<sub>3</sub>最高値 大川山90ppb

鳥しよ部では夜間から早朝にかけて強い接地逆転層が形成されたが上層風は7m/s前後の強いW風が吹いていた。O<sub>3</sub>濃度は全地域共に前日よりも高くなった。鳥しよ部のO<sub>3</sub>は三日間通じて70ppb以上の値を示し他の地域とは異なる傾向を示した。このことは前述した汚染形態の違いと地理的条件が作用したものと考えられた。内陸部の上空1,000m以上においても5m/s以上のW系の風が吹走していたが接地層に近づくに従って地形の影響を受け風速も弱まっていた。地上風の調和解析の結果では26日と比較すると1日周期成分楕円の偏平率がシャープになっていたが，楕円の大きさ，1/2日周期成分，ベクトル平均値はほぼ同様であり依然としてWの卓越風の影響が強かった。NO<sub>x</sub>は前日とほぼ同様の値を示した。5月の調査期間の地域別のO<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>の濃度を図6に示した。

7) 汚染質のクラスター分析(最短距離法)

10地点のO<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>濃度を1日ごとにクラスター分析した。図7に示すように，O<sub>3</sub>は濃度の高いグループ順に，大川山>(本島，丸亀城，内陸部3局)>臨海部4

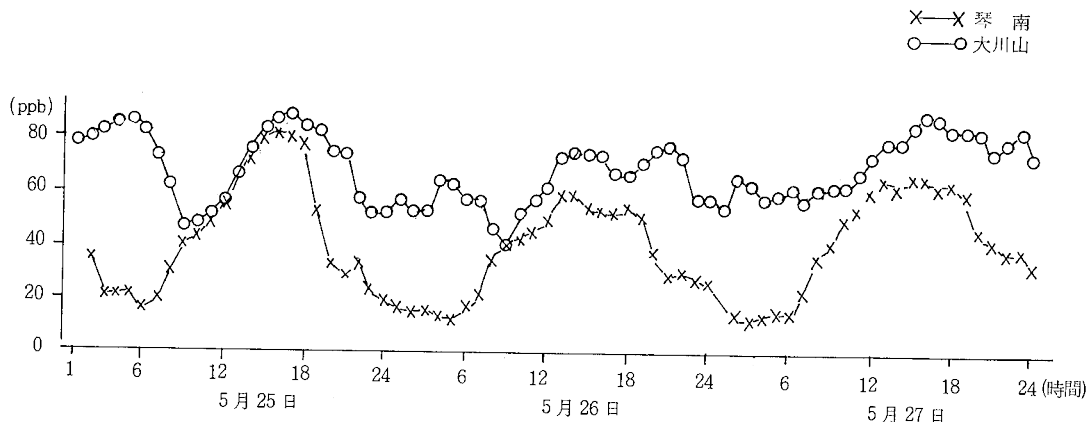


図5 5月の琴南と大川山のO<sub>3</sub>時系列変化

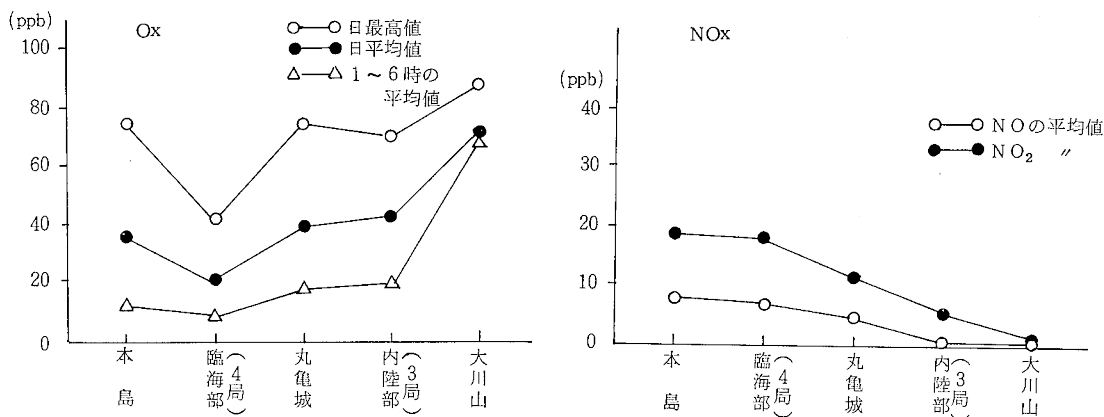


図6 5月調査期間中の地域別O<sub>3</sub>, NO<sub>x</sub>濃度

- 1 本島 3 丸亀城 5 多度津 7 普通寺 9 琴南  
 2 丸亀 4 城坤 6 宇多津 8 満濃 10 大川山

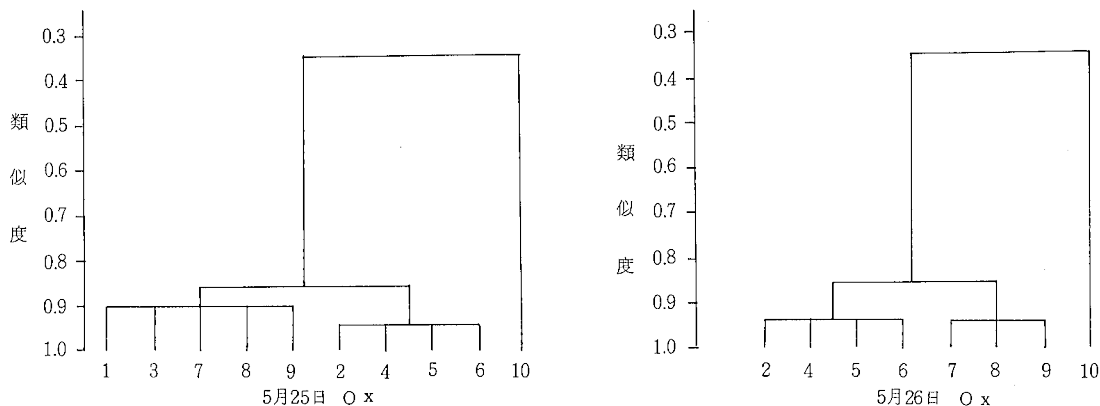


図7 汚染質のクラスター分析デンドログラム

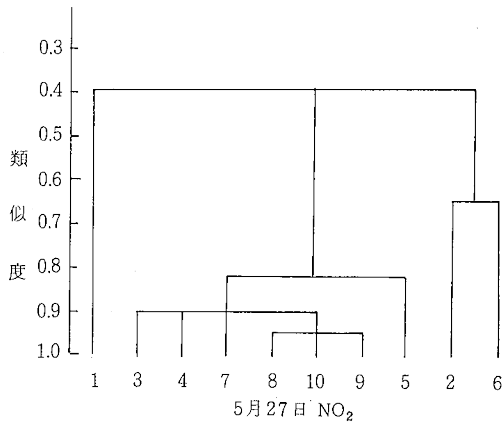
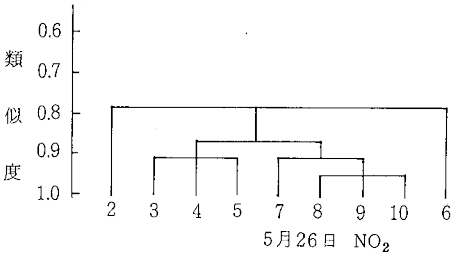
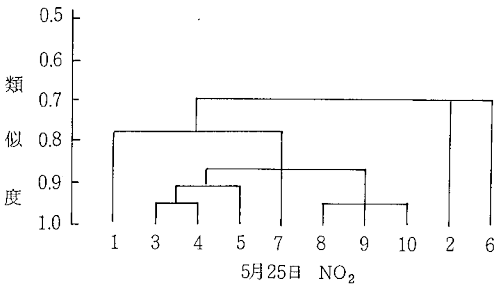
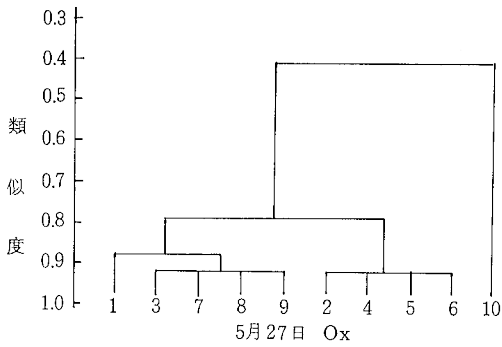


図7 汚染質のクラスター分析デンドログラム

局となり3グループに分かれた。NO<sub>2</sub> は(丸亀, 宇多津) > 本島 > (丸亀城, 城坤, 多度津) > 善通寺 > (満濃, 琴南, 大川山) の5グループに分れた。この結果Ox はグループ数も少なく汚染形態は広域的であると考えられ、NO<sub>2</sub> は局地的な汚染の傾向が示唆された。

## 2. 8月の調査

### 1) 天気概況

24日は弱い前線が中国、九州北部に停滞していたが天気は晴であった。25日は大型で強い台風13号が沖縄東約400km海上を20km/hで北北西に進行しており、本県も徐々に影響を受け始めた。26日未明より進路を真北にとり午後からは本県も勢力圏内に入った。

### 2) 気象概況

表4に示すように24日は停滞前線、25,26日は台風の影響を受け気温、日射量はやや低く、四電の風速も強くOxの高濃度は望めない気象状態であった。

### 3) 海陸風

24日は臨海部において8時頃に海陸風の交替が行われており持続時間は5時間であった。本島での交替はなかった。四電の200m高さにおける風は早朝から弱いNNEの風が吹走しており、日中は5m/s以上のNEの一般風が吹いていたことから海風の規模は小さいものと考えられた。調和解析結果では図14に示すように全地域共にE系の風が強く台風の影響が開始した。25日からこの傾向はさらに強く海陸風は発生しなかった。

### 4) 鉛直拡散場及び上層風

図8に示すように、大気は不安定であり日中には逆転層はなく、24日の夜間から早朝にかけて500m付近に形成されていた。島しょ部の24日の上層風は600mまでENE~ESEで風速も4~5m/sと強い。内陸部は地形の影響を受け風速は弱く2~3m/sであった。25日からは次第に風速は強まり10m/s以上の風が観測された。

### 5) 事例日の解析

#### 8月24日 Ox最高値 丸亀城 50ppb

上記のように大気は不安定であり、汚染質は低濃度であった。Oxの濃度は低いが地域的な濃度分布は5月のクラスター分析結果とよく似た傾向を示していた。また大川山のOx濃度は図9に示すように内陸部とほぼ同様な値で日変化を示すが立ち上がり時間は11時で内陸部とは約1時間程度のタイムラグが見られる。このことについてはOx汚染気塊の移流によるものと推測されるが、本調査では気象及び汚染質のデータが不十分で結論は出なかった。

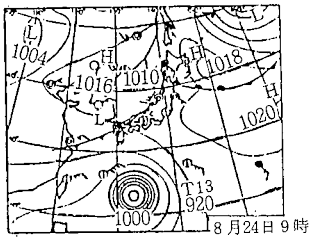
#### 8月25日 Ox最高値 本島 47ppb

この日は海風も観測されず大気はさらに不安定となり汚染質の濃度もさらに低くなった。しかし、本島のOx濃度は前日よりも高くなり、NOxも他の地域のように減少していない。5月の調査においてもこのような現象が見られており、島しょ部の地域的な特徴がよく現れていた。

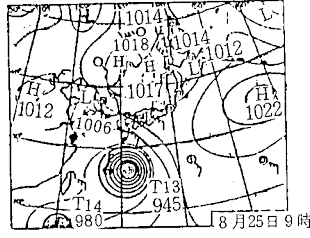
表4 8月の気象要因一覧

調査日	地上天気図による気圧配置	最高温度 (°C)	平均温度 (°C)	平均湿度 (%)	地上気圧傾度力 (mb/10km)	四電風速 (m/s)		日射量 (MJ/日)	1,000mまでの9時の平均気温減率 (°C/100m)
						最高	平均		
8月24日	図A ー	31.6	26.4	78	0.018	G	3.1	17.5	0.66
8月25日	図B ー	31.8	27.6	71	0.067	G	7.3	20.9	0.55
8月26日	図C T	30.3	27.5	72	0.12	G	G	12.9	—

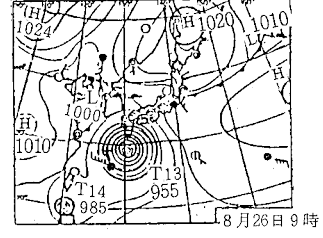
Gは20m/s以上



図A



図B



図C

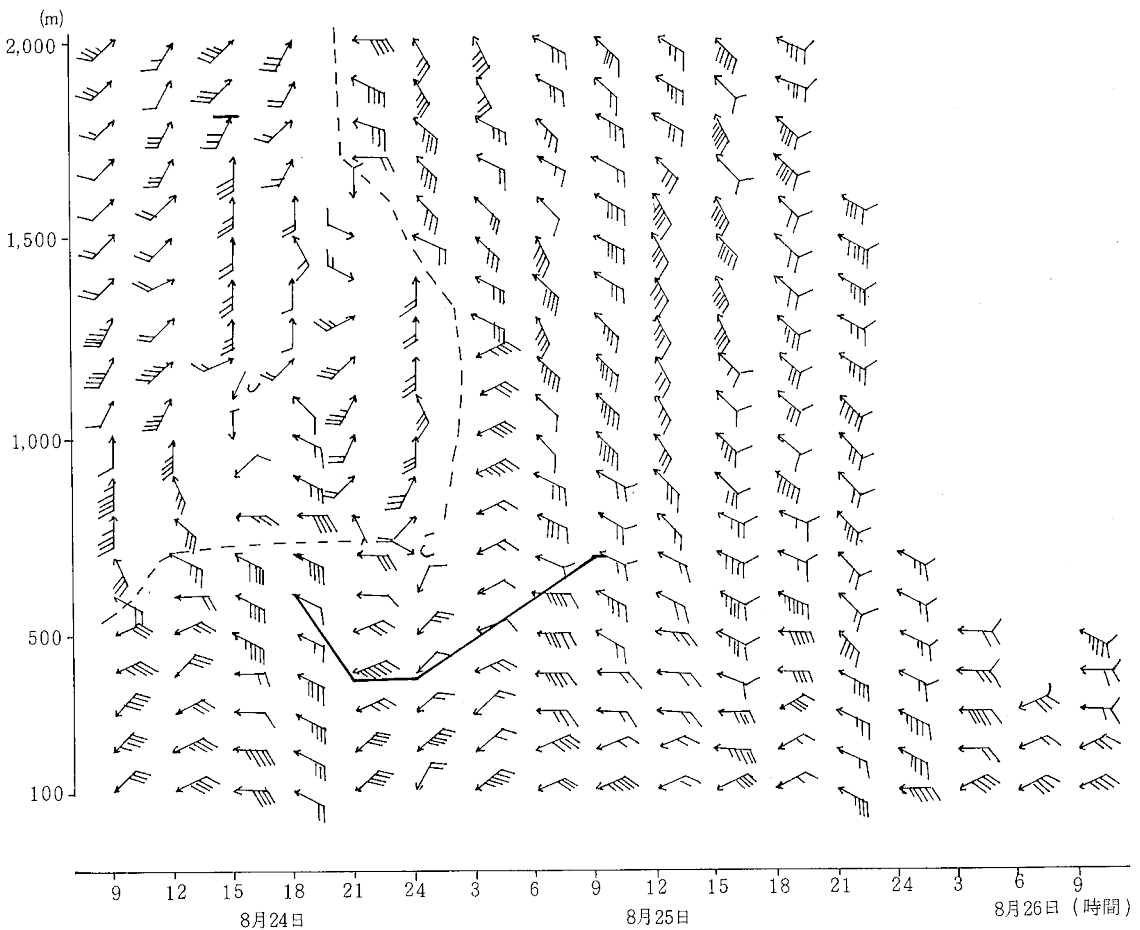


図8 8月本島の上層風と逆転層



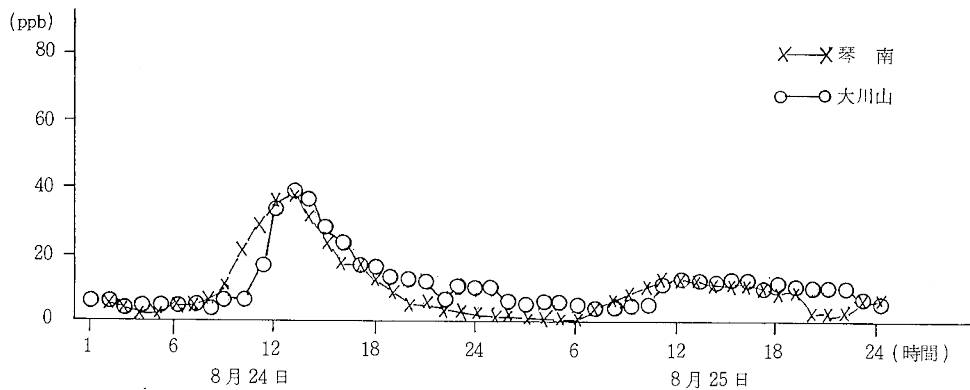


図9 8月の琴南と大川山のOx時系列変化

## まとめ

1. 海陸風の交替は8～9時に行われ、地域による時間差はなかった。侵入域は地形等から推察して満濃付近と考えられた。海風の高さは本島で200m、琴平では700m程度と思われた。また地形的に島しょ部は発散域に内陸部は収束域になりやすいこともわかった。

2. 中讃地域のOxはクラスター分析の結果、島しょ部、内陸部、丸亀城は同一グループに入り広域化しやすい傾向が見られた。内陸部のOx生成は濃度パターン、高濃度発生時刻から推測すると輸送の過程によるものと考えられた。

3. 島しょ部はOx、NOx濃度は共に高く、臨海部の地上局に見られるOxの一次汚染質による分解作用は受けていない。このことは島しょ部では地理的条件と発生源が臨海部と異なるため日中のNOx濃度が臨海部のように高濃度にならないことが大きな原因と考えられた。

4. 臨海部において地上と60m高さにおける(丸亀と丸亀城)汚染質濃度の比較を行った。その結果前者ではOxは低くNOxが高い、後者はその逆であった。このことは臨海部の地上のOxが一次汚染質により破壊されているものと思われる。また大都市での鉛直分布とは多少異なり地上で排出される一次汚染質はほとんど上空60mまで達していないものと考えられた<sup>8)</sup>

5. 5月の大川山(標高1,043m)におけるO<sub>3</sub>は高濃度であり地上と同様の日変化を示すが、夜間から早朝にかけても濃度は高く分解されることなく滞留しているものと思われる。また夜間から早朝にかけてピークが見られ、5月26日は21時に日最高値を記録しており、O<sub>3</sub>を含む汚染気塊の輸送が推定された。8月の調査においてOxの午前中の上昇時間に内陸部とは約1時間のタイムラグが見られるが、この現象については気象の資料が不足し

ており今後の課題としたい。

6. NOxは臨海部、島しょ部が高く、内陸部から山岳部に近づくに従って低くなる。琴南では大気が安定するとわずかに二山ピークが見られるが、大川山ではほとんど検出限界に近い値であった。クラスター分析の結果では近傍の汚染源による寄与率が高く、局地的な汚染の傾向が強かった。

終わりに本調査研究に多大なご協力を頂いた丸亀市公害交通課、満濃南小学校、琴南西小学校、大川神社、琴平保健所の方々に深く感謝致します。

## 文 献

- 1) 山本務, 中野智, 岩崎幹男, 藤岡博文, 森下玲子, 美澤 誠: 中讃地域内陸部における海陸風循環特性と光化学オキシダントについて(第二報), 香川県公害研究センター所報, 6, 64(1981)
- 2) 環境庁: 光化学オキシダント広域解析調査(瀬戸内地域), 3(1978)
- 3) 中林正一, 三好健治, 山本務, 藤岡博文, 串田光祥, 納田徹也, 美澤 誠: 中讃地域の臨海部および島しょ部における光化学大気汚染について(第三報), 香川県公害研究センター所報, 4, 99(1979)
- 4) 藤岡博文, 三好健治, 山本務, 中林正一, 串田光祥, 岩崎ふみ代, 納田徹也, 美澤 誠: 中讃地域の臨海部および島しょ部における光化学大気汚染について(第二報), 香川県公害研究センター所報<sup>4)</sup>, 74(1979)
- 5) 中野道雄: 大気汚染現象と気象, 天気, 29, 3, 51(1983)
- 6) 根山芳晴: 瀬戸内の海陸風について, 天気, 29, 6, 83(1982)
- 7) 河口至尚: 多変量解析入門II, 26, 森口出版(1978)

8) 奥田典夫, 小川靖, 上原清, 老川進: 高層ビルを用いた光化学汚染質の鉛直分布の日変化について, 第21回大気汚染学会講演要旨集, 186(1980)

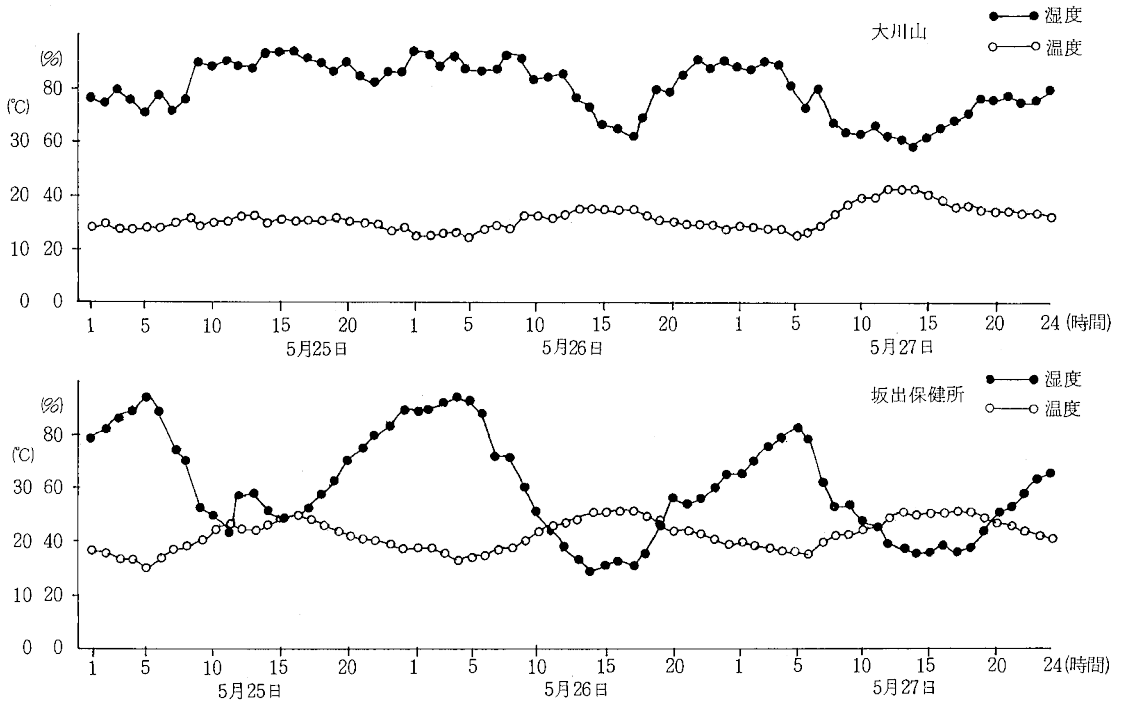


図10 大川山と坂出保健所の温湿度時系列変化

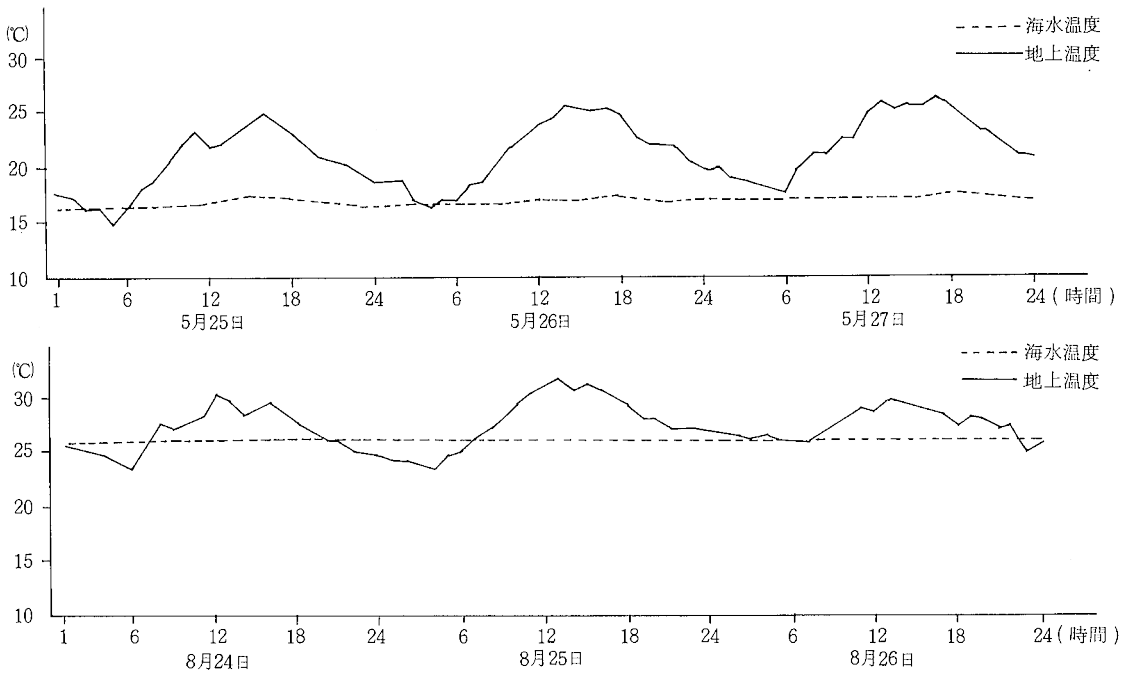
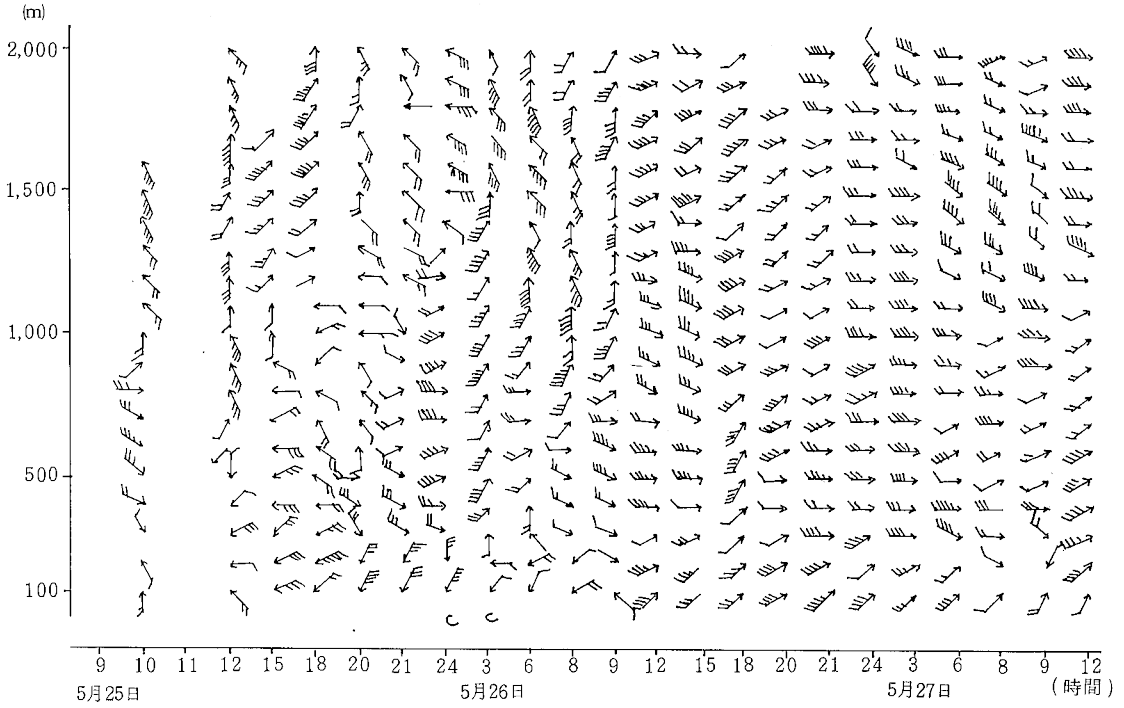


図11 5月と8月の海水と地上温度

本島 57年 5月



琴平保健所 57年 5月

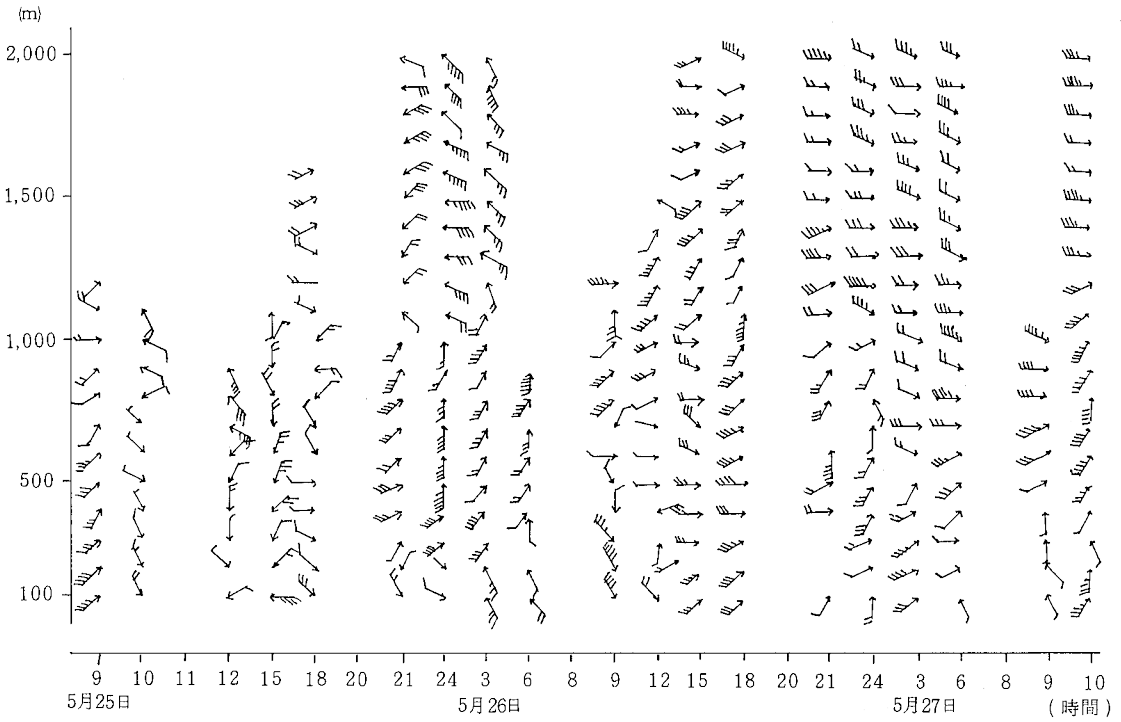


図12 風の鉛直分布

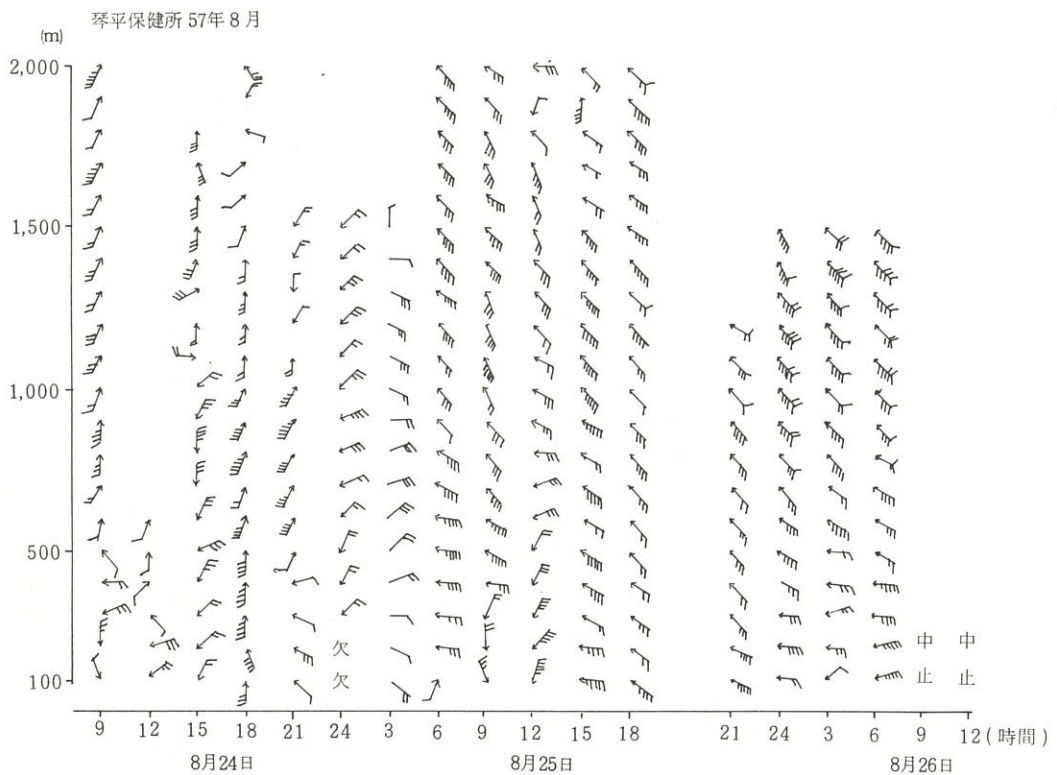
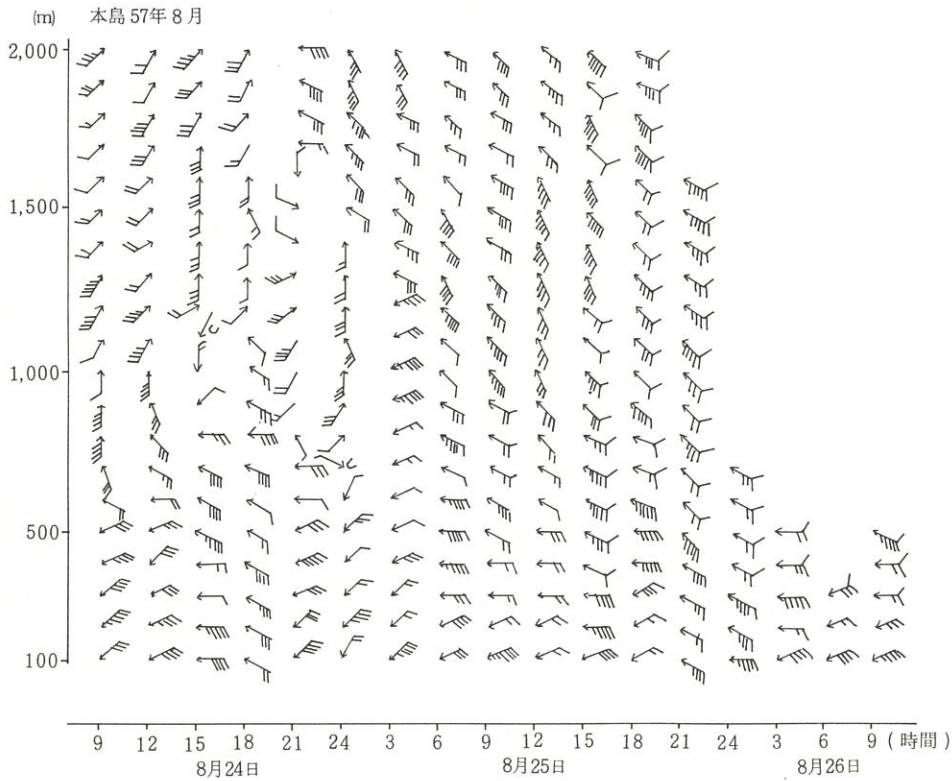


図12 風の鉛直分布

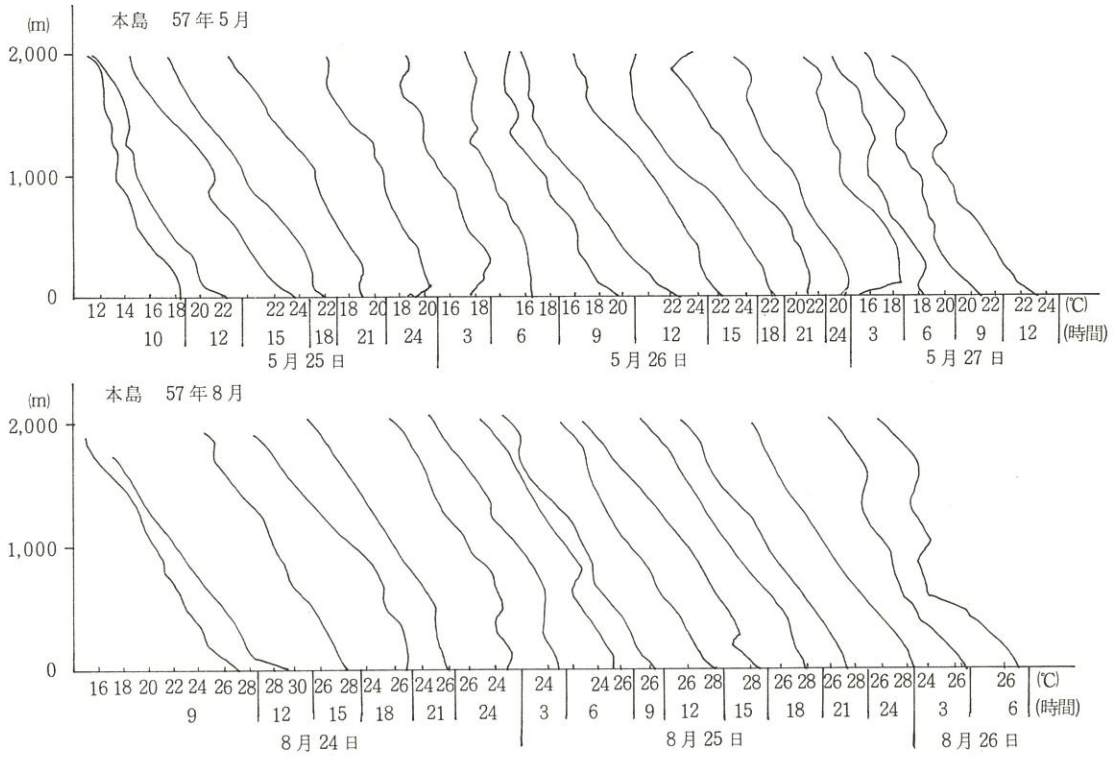


図13 気温の鉛直分布

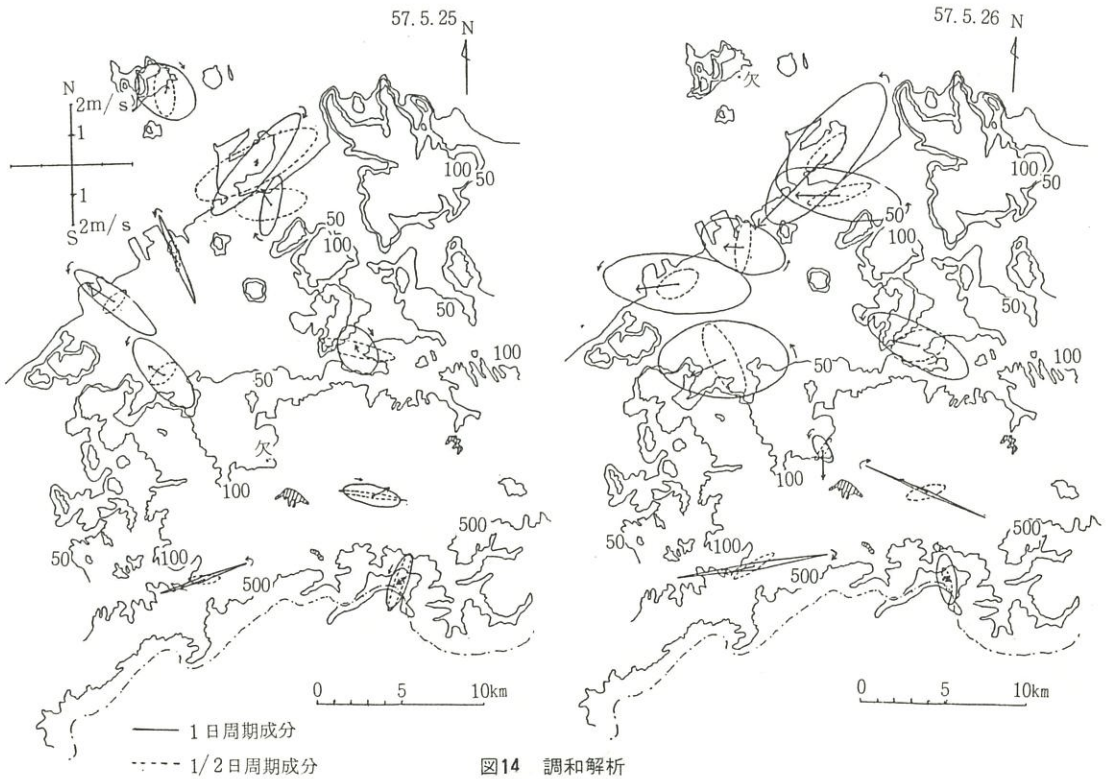


図14 調和解析

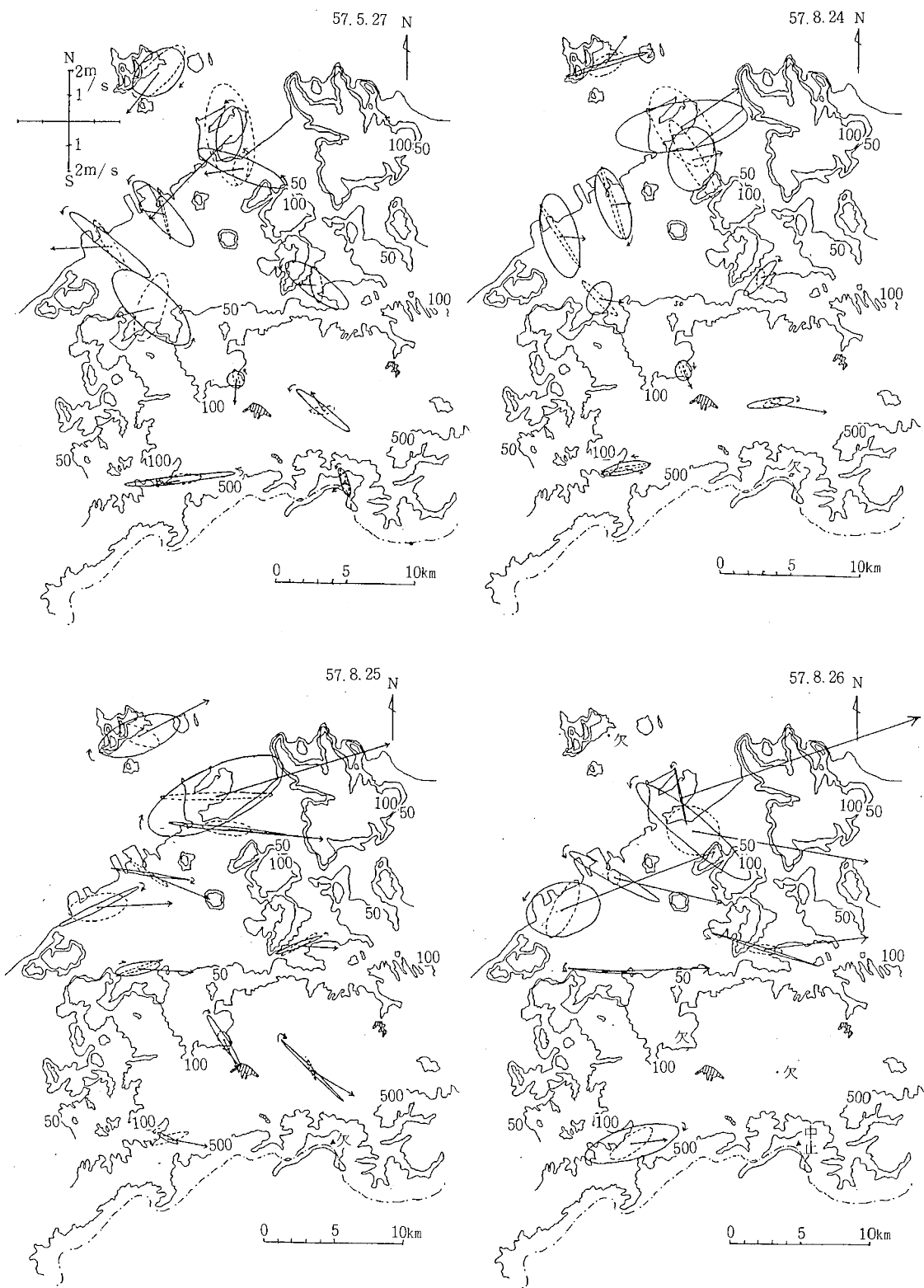


図14 調和解析

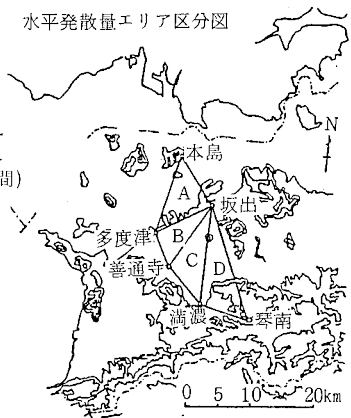
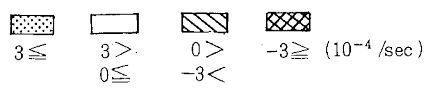
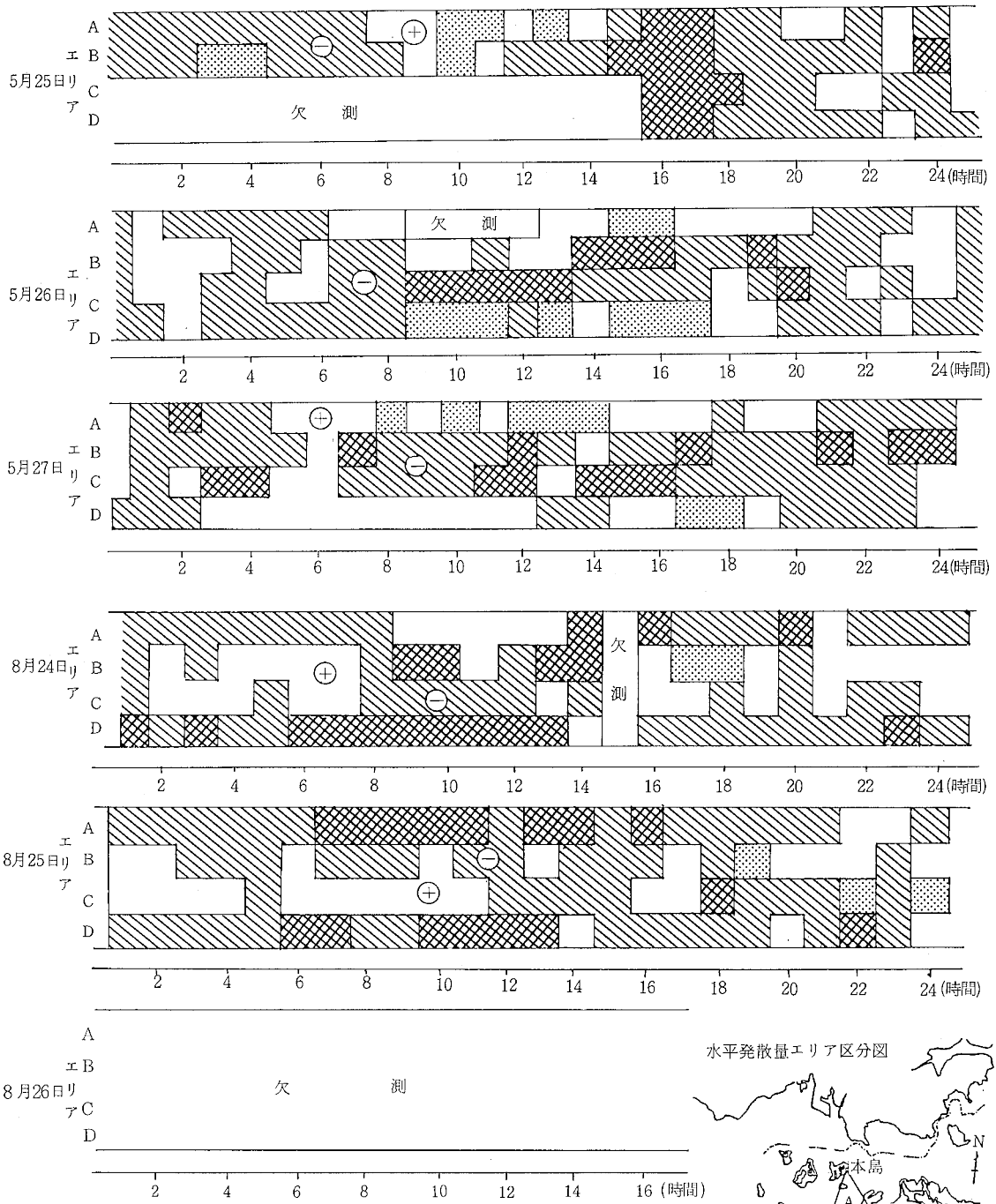


図15 地上エリア別水平発散量

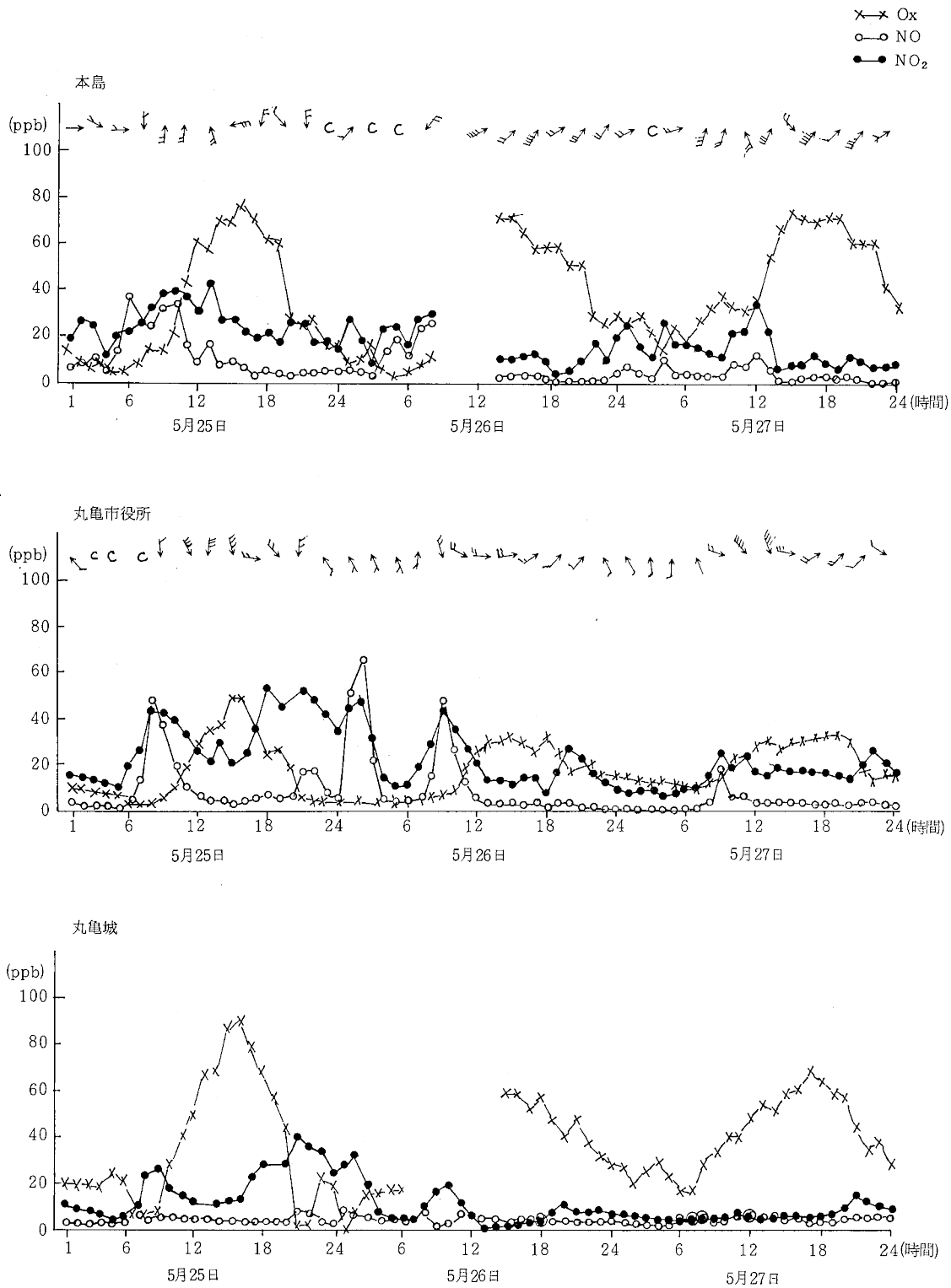
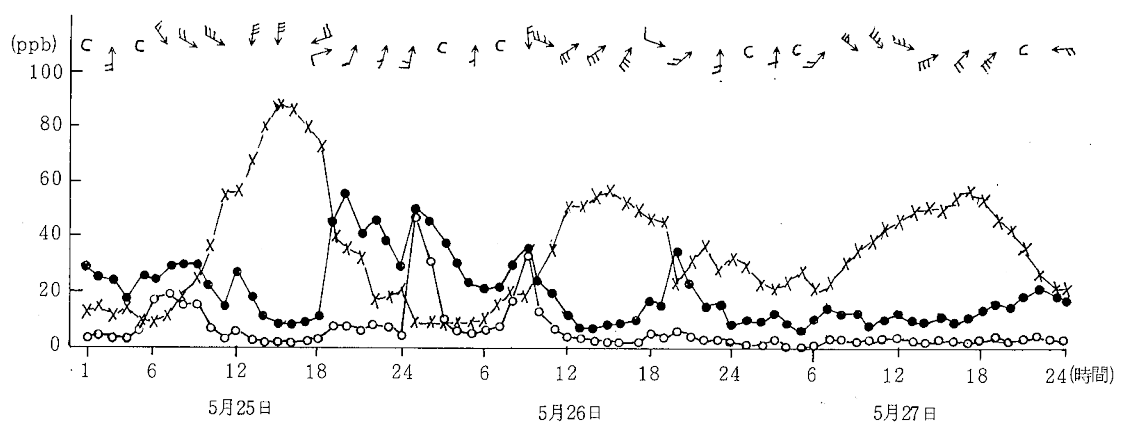


図16 大気汚染物質の時系列変化

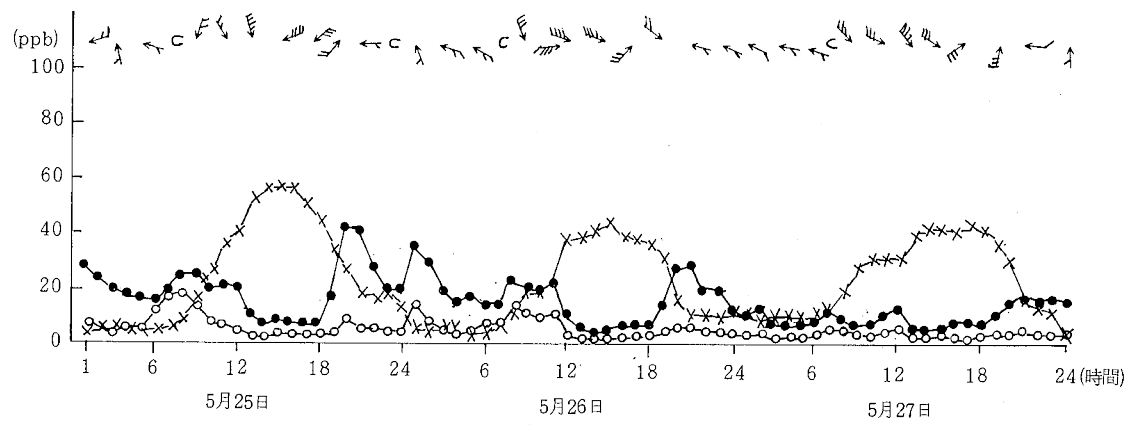


X-X O<sub>x</sub>  
 ○-○ NO  
 ●-● NO<sub>2</sub>

坂出市役所



林田出張所



宇多津町役場

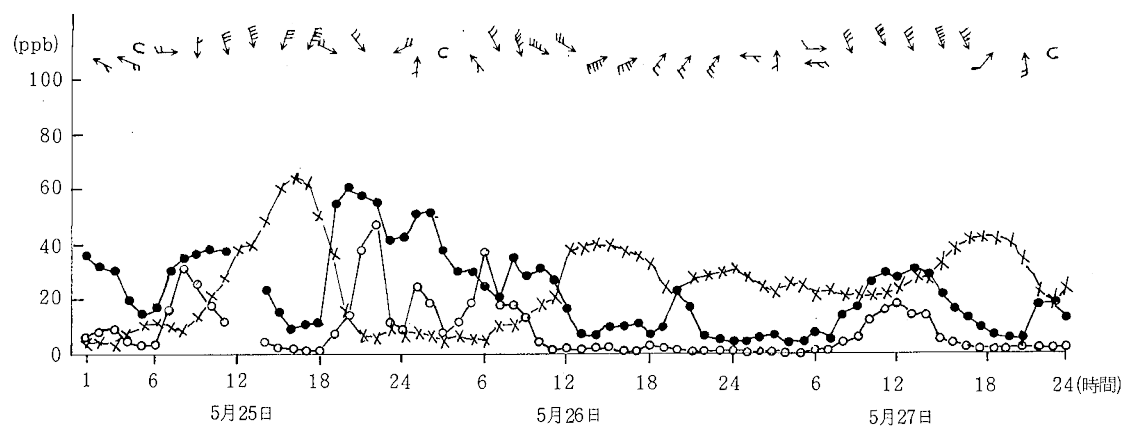


図16 大気汚染物質の時系列変化

×× O<sub>x</sub>  
 ○○ NO  
 ●● NO<sub>2</sub>

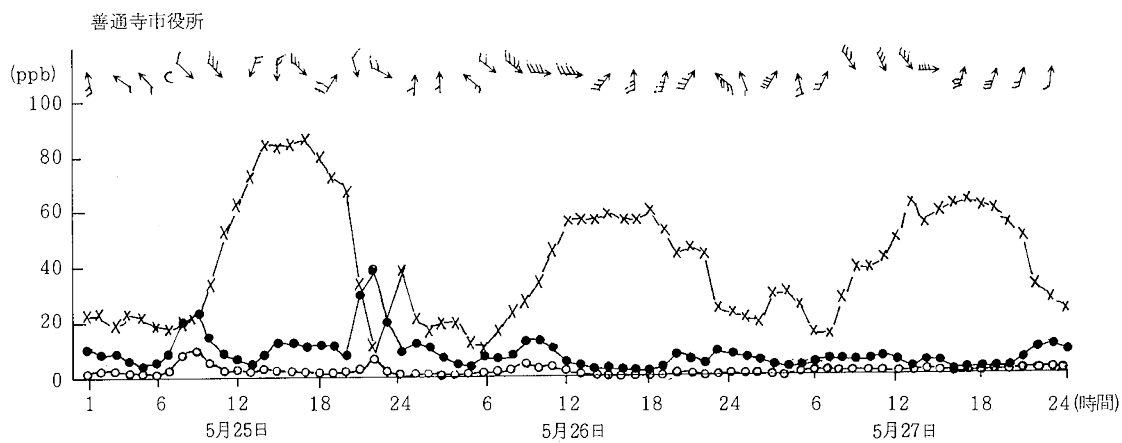
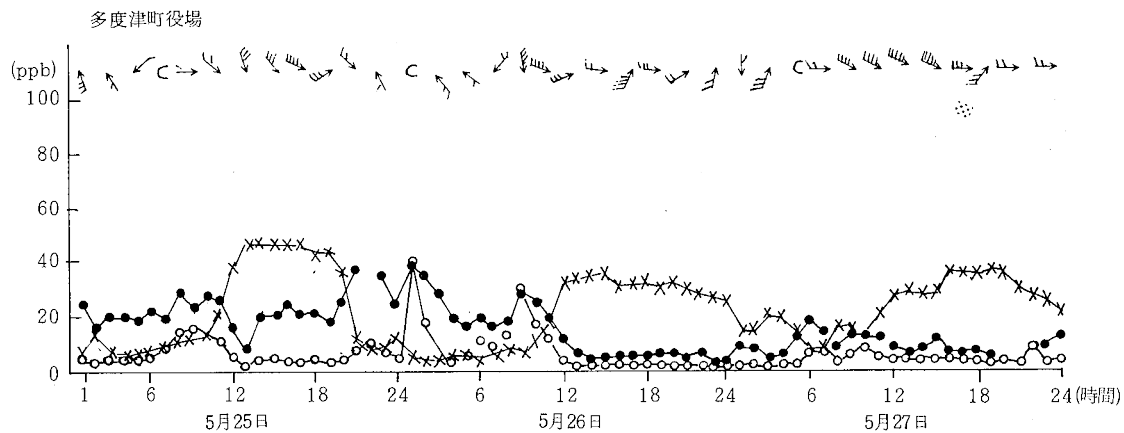
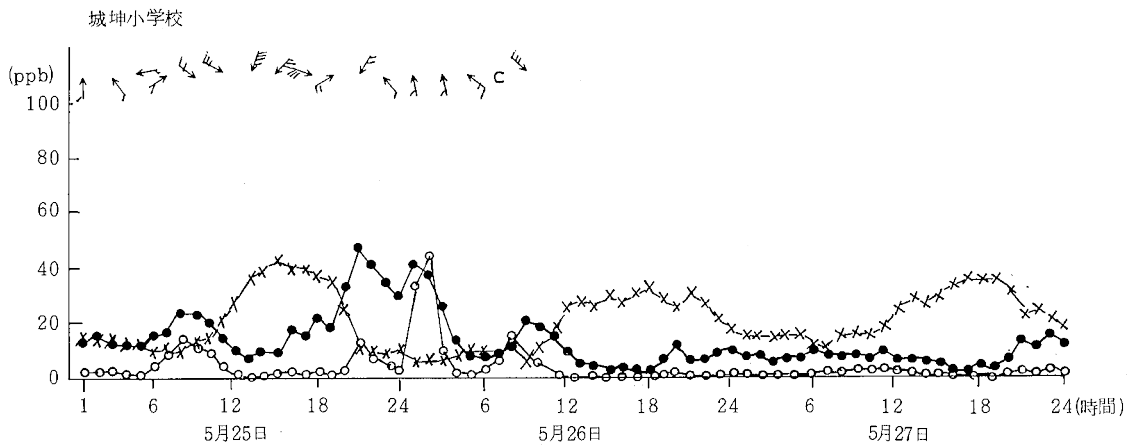
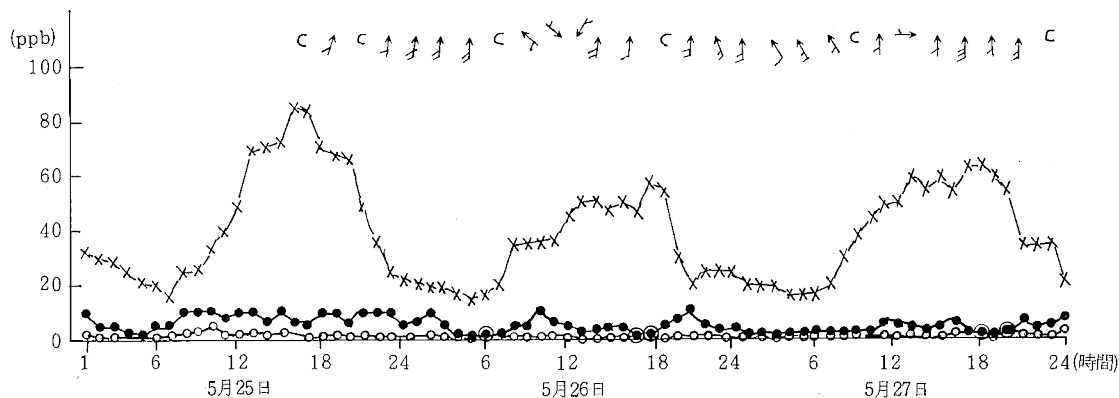


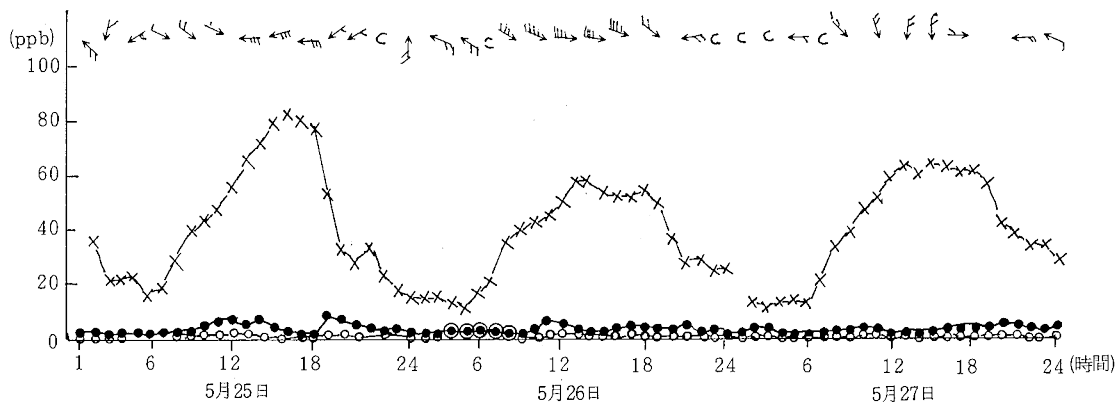
図16 大気汚染物質の時系列変化

X-X Ox  
 ○-○ NO  
 ●-● NO<sub>2</sub>

満濃南小学校



琴南西小学校



大川山

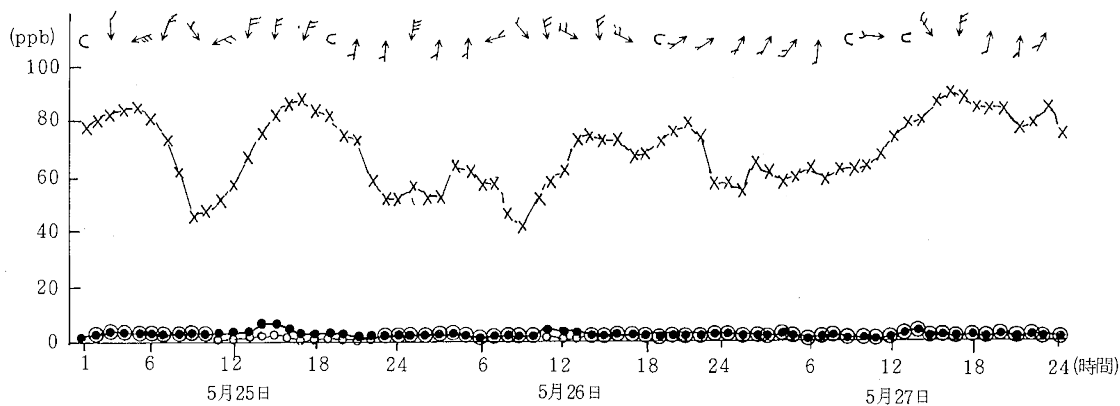


図16 大気汚染物質の時系列変化

X-X Ox  
 ○-○ NO  
 ●-● NO<sub>2</sub>

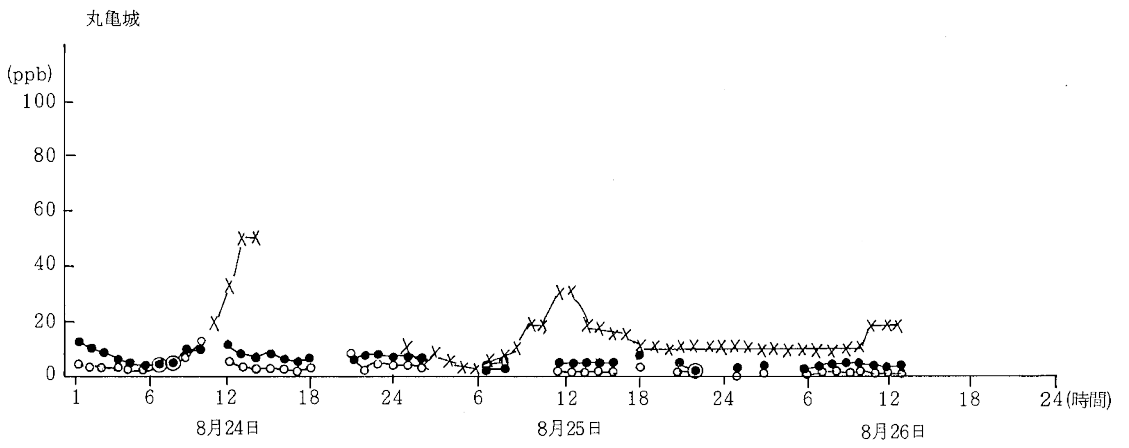
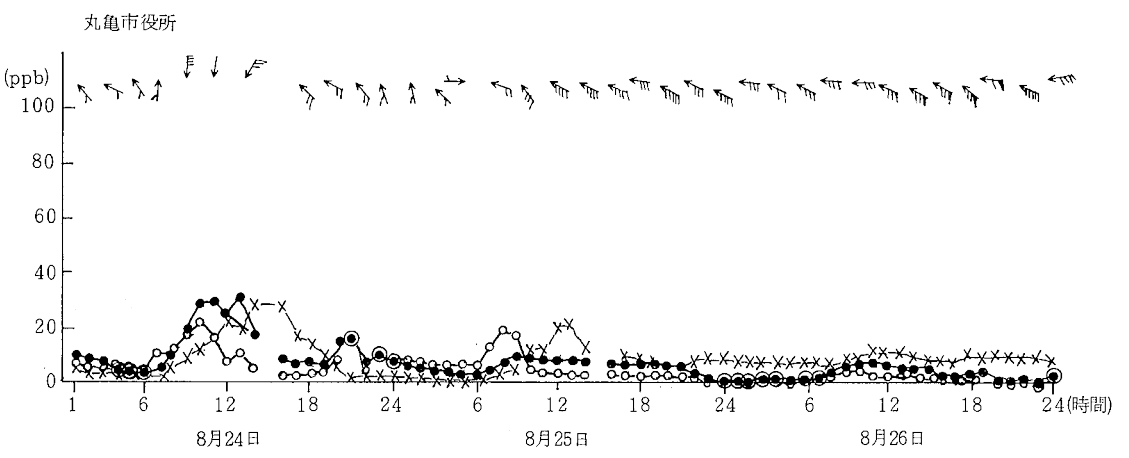
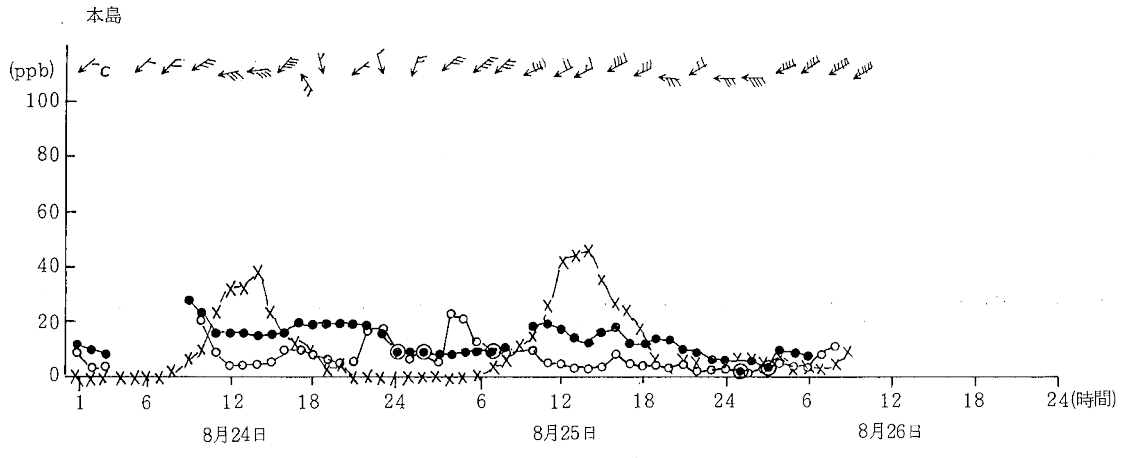
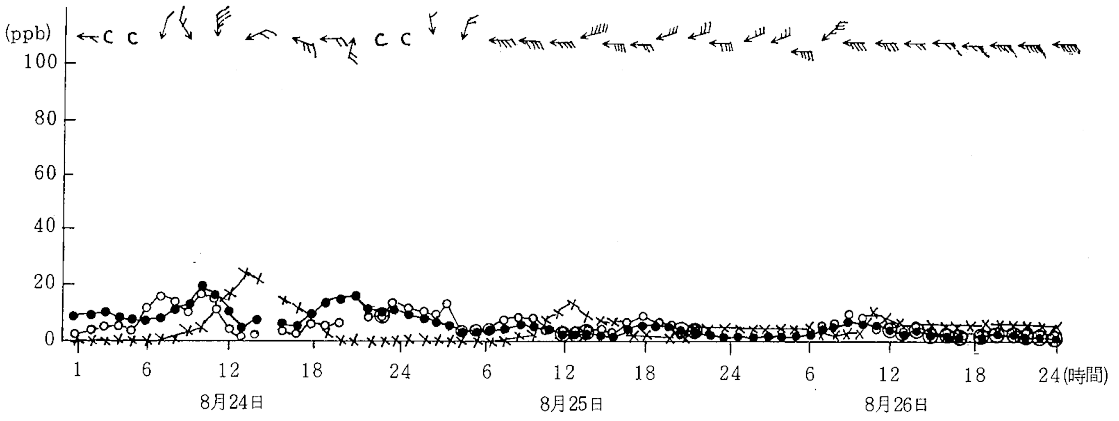


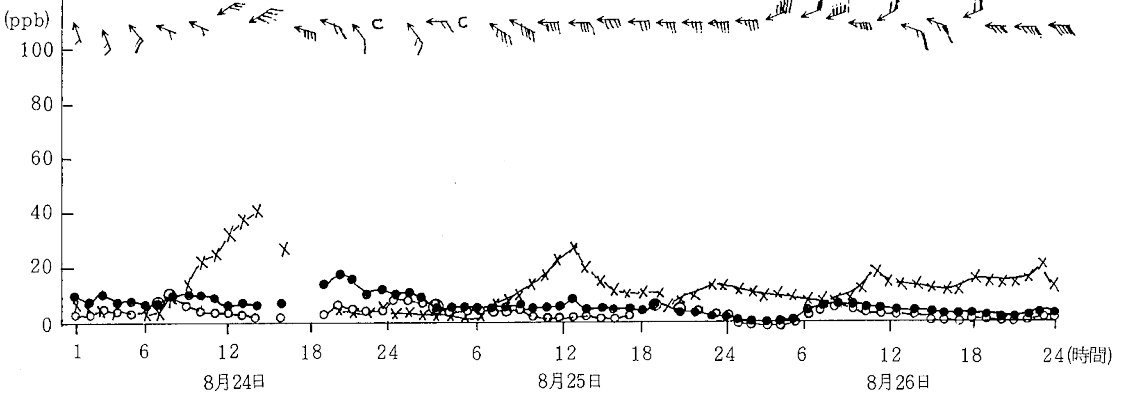
図16 大気汚染物質の時系列変化

×× O<sub>x</sub>  
 ○○ NO  
 ●● NO<sub>2</sub>

坂出市役所



林田出張所



宇多津町役場

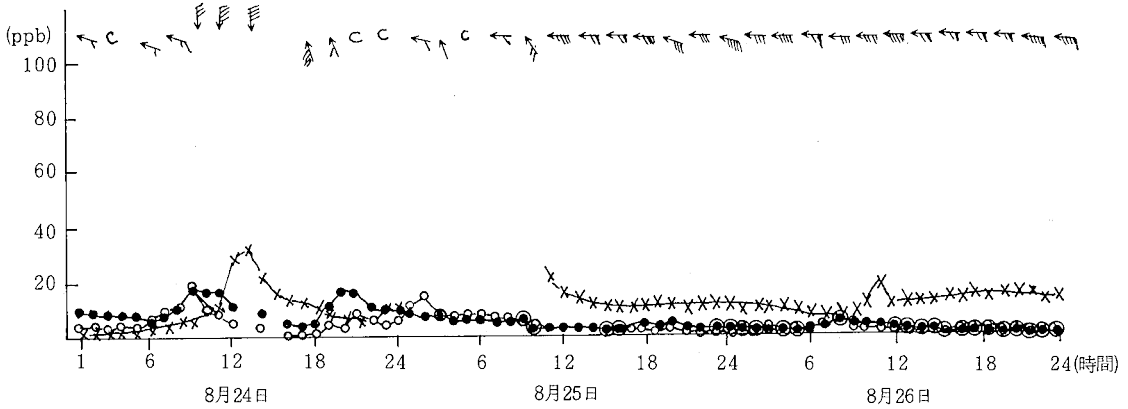


図16 大気汚染物質の時系列変化

X-X O<sub>x</sub>  
 ○-○ NO  
 ●-● NO<sub>2</sub>

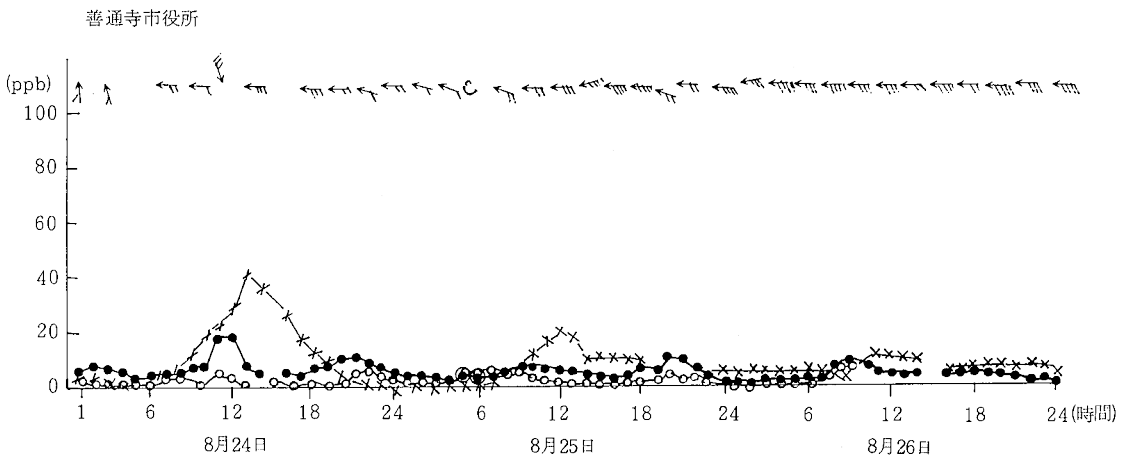
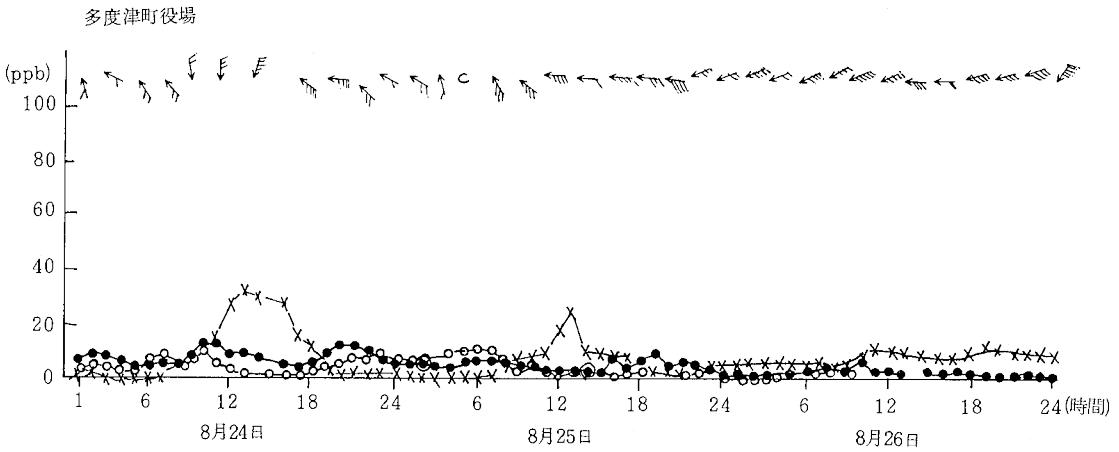
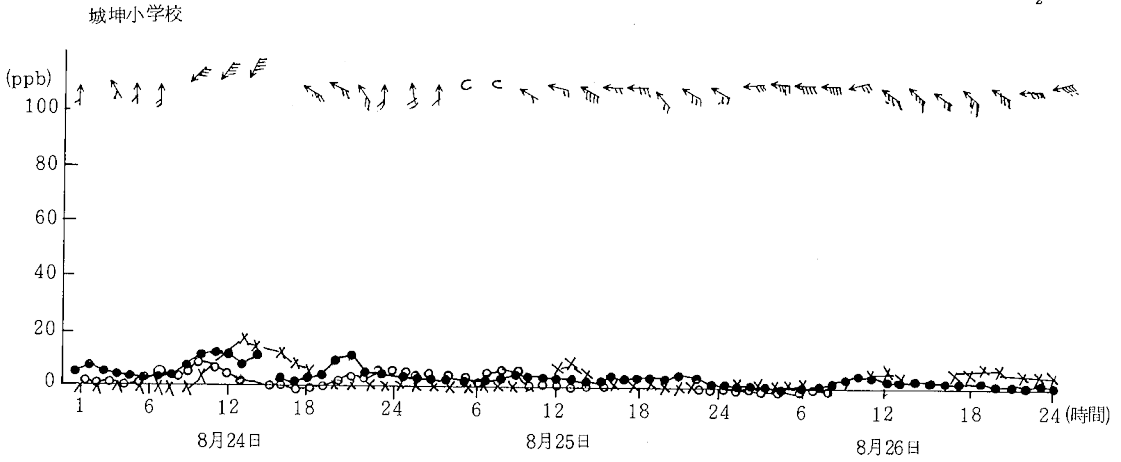
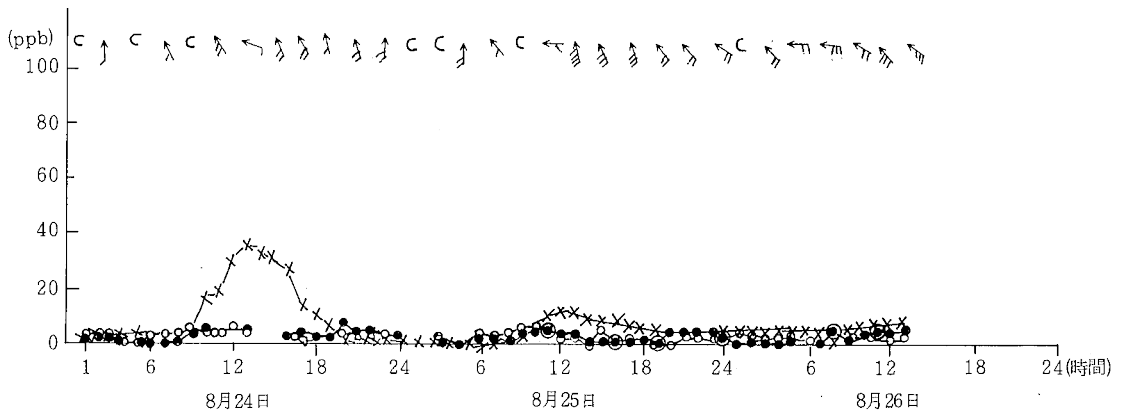


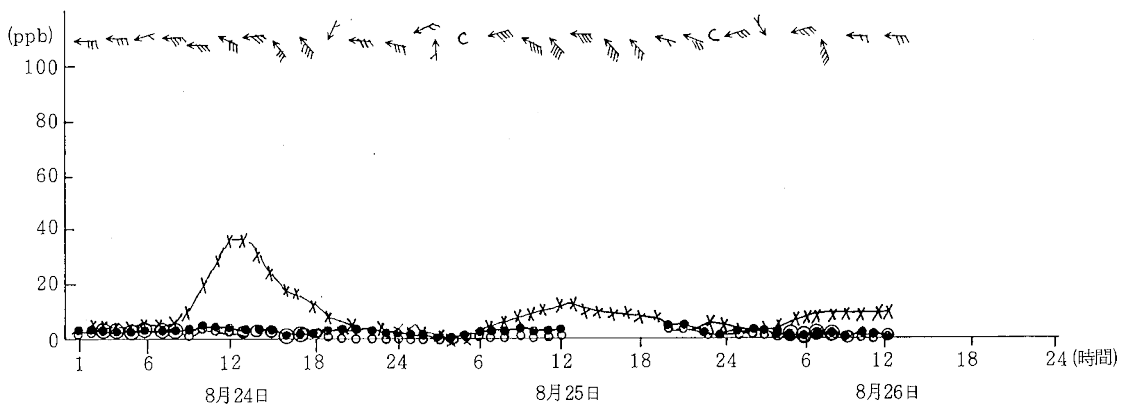
図16 大気汚染物質の時系列変化

X-X Ox  
 ○-○ NO  
 ●-● NO<sub>2</sub>

満濃南小学校



琴南西小学校



大川山

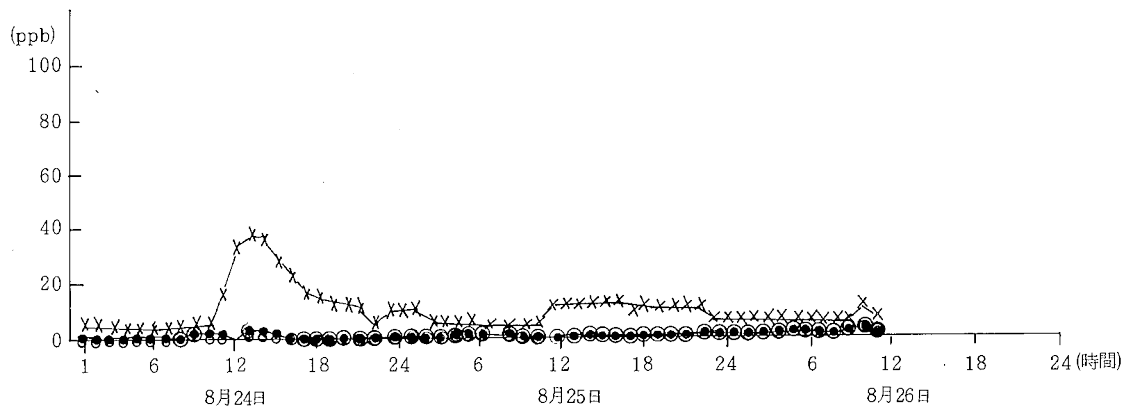


図16 大気汚染物質の時系列変化