

香川県東部地域における光化学大気汚染について (第2報) — 内陸部 —

Photochemical Air Pollutions in the Eastern Part of Kagawa Prefecture (II) — In Inland Area —

岩崎 幹男 山本 務 木村 正樹* 中野 智
Mikio IWASAKI Tsutomu YAMAMOTO Masaki KIMURA Satoru NAKANO
鈴木 恵美 辻 正徳** 美澤 誠***
Emi SUZUKI Masanori TSUJI Takesi MIZAWA

昭和59年度の5月と8月に本県の東部地域において、大気汚染物質 (O_x , NO_x , エアロゾル) の濃度分布と気象状態の調査を行うと共に、 O_x の高濃度現象の解析を行った結果、次のことが分った。

1. 海風の侵入域は海岸線から10数kmであり、海風の高さは約200mであった。
2. 内陸部の地上風は地形の影響を受け西風が支配的であり、風の場としては収束域になりやすい。
3. 内陸部の O_x 高濃度出現傾向は海陸風が循環すると中濃地域と同様に高濃度になりやすく、5月は成層圏からの輸送が推測された。8月の調査時は海風前線が5～6kmであったが、讃岐山脈に近い内陸部の O_x は高濃度になり、 O_3 を含む汚染気塊の移流が考えられた。
4. エアロゾル重量濃度は山岳部付近でやや減少するが、他の地域では差は見られなかった。 SO_4^{2-} 、 NH_4^+ は地域差がなく広域な汚染であり、 NO_3^- は発生源に多少影響されることが分った。

はじめに

高松市は人口32万の中規模の商業都市であり、本県では最大の都市である。大気汚染源としては移動発生源が主体で面汚染型である。本県の東部地域における汚染源はこの移動発生源の他に臨海部の固定発生源や瀬戸内海に航行する船舶からの汚染が考えられる。一方、近年内陸部では道路整備状況もよく大気汚染は拡大されつつある。

これらの汚染状況を把握し、東部地域における大気汚染物質の高濃度現象を解明するために、昭和58～60年度にかけて調査研究を実施している。昭和58年度は島しょ部から臨海部にかけて調査し、播磨灘や備讃瀬戸からの移流について一知見が得られた。

今回(昭和59年度)は5月と8月に、臨海部から内陸部のエリアにおいて海陸風の循環特性や大気汚染物質の濃度分布を把握し O_x の高濃度出現状況を調査したのでその結果を報告する。

調査方法

1. 調査期間

昭和59年5月22～24日及び8月28～30日の計6日間

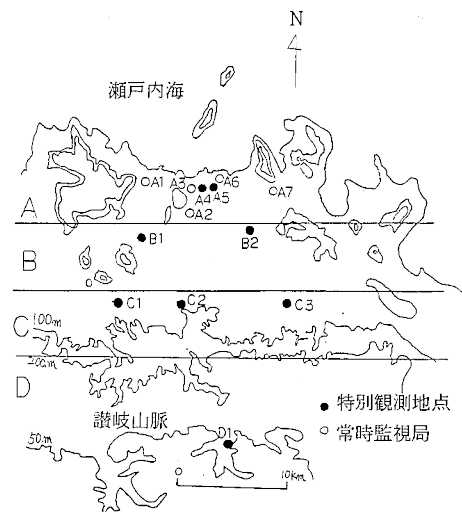


図1 調査地点図

*: 転出 (公害課)

** : 転出 (薬務食品課)

*** : 退職 (KK伏見製薬所)

表1 調査地点名、項目、測定方法の一覧表

地域	地点番号	項目 地点名	NO _x		O _x		エアロゾル		地上風	上層風	上空温度
			ザルツマン	ケミルミ	比色	紫外線吸収	光散乱	Hi Vol	風車式	パイロットバルーン	低層ラジオゾンデ
臨海部	A1	勝賀中学校	○		○		○		○		
	A2	南消防署					○		○		
	A3	高松市役所	○		○		○				
	A4	百十四		○		○		○			
	A5	公害研究センター	○		○			○	○	○	
	A6	競輪場	○		○		○		○		
	A7	東消防署	○		○		○		○		
内陸部	B1	檀紙小学校	○		○			○	○		
	B2	川添小学校	○		○			○	○		
	C1	昭和小学校	○			○		○	○		
	C2	香川第一中学校	○		○			○	○	○	○
	C3	氷上小学校	○			○		○	○		
山岳部	D1	塩江	○		○			○	○		

備考 1) Hi Vol でサンプリングしたエアロゾルの分析項目：重量，水溶性陰イオン (SO₄²⁻，NH₄⁺，NO₃⁻，Cl⁻)
 金属 (V, Ni, Pb, Zn, Mn, Fe, Cu, Cr)
 分析機器：水溶性陰イオンはイオンクロマト
 金属はケイ光X線で行った。

2) 上層風，上空温度は上空2,000mまで観測，観測時間は3時間おきに昼夜連続3日間

2. 調査地点

図1に示すように特別観測局8局，常時監視局5局で調査した。便宜上，海岸線から5kmごとにA～Dの4地域に分けた。発生源の規模はA→Dの順に小さくなる。A3は60m高さのビルの屋上，D1は讃岐山脈の中腹で標高280mに位置する。表1に地点名を示す。

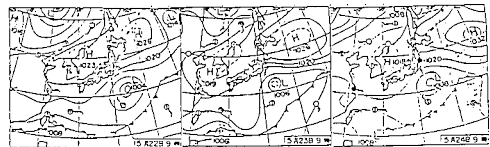


図2 5月22～24日の気圧配置図

3. 調査項目

大気汚染物質はNO_x，O_x，エアロゾルを測定した。気象は地上風，上層風，上空温度について観測した。これらの調査地点，測定項目，測定方法については表1に示す。

結果及び考察

1. 5月の調査

1) 天気概況 表2の気象要素と図2の気圧配置図からも分るように調査期間の3日間共に移動性高気圧に覆われ，最高気温は25℃前後，最大風速は約4 m/sとよい天気であった。

表2 5月22～24日までの気象要素

項目 月日	平均 気温 (°C)	最高 気温 (°C)	平均 湿度 (%)	日照 時間 (hr)	最大 風速 (m/s)	同風向
5月22日	18.3	23.8	61	9.1	3.6	N
5月23日	19.3	26.7	57	11.9	4.4	NNW
5月24日	19.5	26.9	56	11.3	4.3	NNW

2) 上層風と上空温度

上層風と上空温度を図3，4に示す。5月22日の臨海部と内陸部で観測した上層風は2地点共に反流が形成されており，地表から200m高さにおいて海風も観測された。夜間から早朝にかけて風速は弱まり上空100mで陸風が吹走し，内陸部では1～2℃の接地逆転層が形成された。

23日の日中は500m以上の層でWの卓越風が吹走しはじめ，臨海部では昨日同様海風が見られたが，内陸部では地表付近までW風であった。この地域は地形的にもWの一般風の影響を受けやすいものと考えられる。夜間から早朝にかけても同様の傾向が見られた。夜間の接地逆転層は昨夜よりも弱く0.5℃程度であった。

24日の午前中は23日とほぼ同様であった。

上空気温は1℃以上の逆転層は形成されず日中における混合層高度は3日間共に1200mとスケールの大きい拡散場であった。

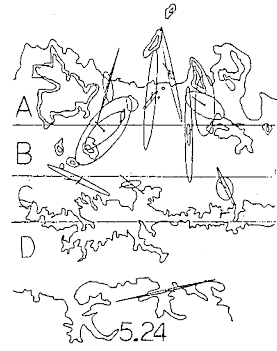
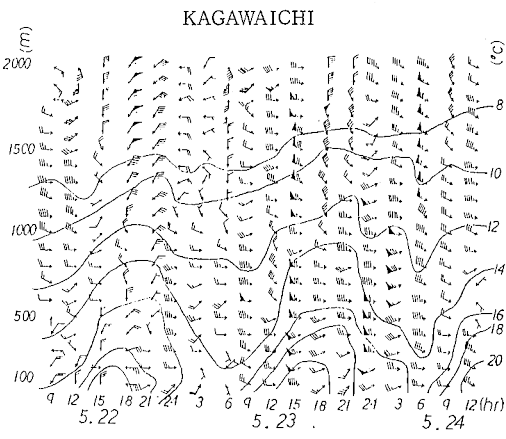
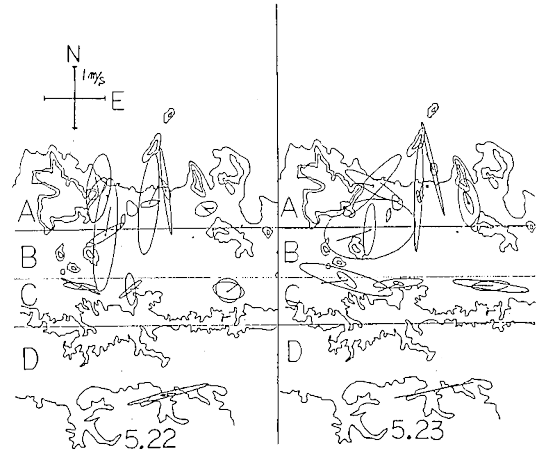
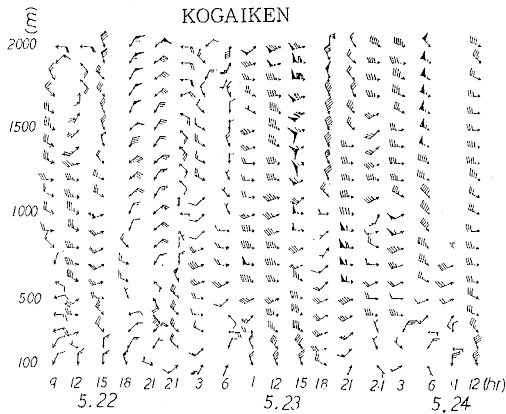


図3 上層風の鉛直分布図

図5 地上風の調和解析図

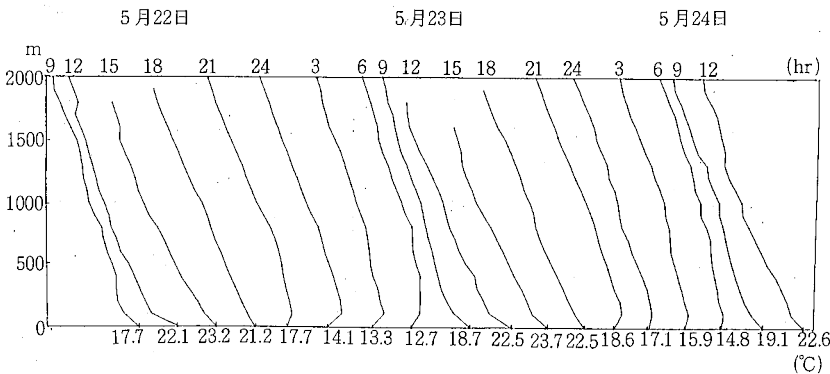


図4 上空温度の鉛直分布図

いのは、地上風系から推測すると備讃瀬戸のN風と播磨灘のE風が混在している事が考えられる¹⁾。C地域の1日周期成分楕円は小さく風速は弱い、C1、C3は東西系がC2は南北系の成分が多いように思われる。23日：A地域の1日周期成分楕円及びベクトル平均値は前日とほぼ同様であるが、A1の1/2日周期成分楕円は大きくなり純粋な海風が入っていない。B1は1日周期成分楕円は大きく丸を帯びていることからN系とW系の2成分の風場となっている。C地域はWの局地風が卓越しており1日周期成分楕円は大きくなり偏平率は大きくシャープであった。

3) 地上風の地域特性
5月22～23日の地上風を調和解析し図5に示す。
22日：A、B地域の1日周期成分楕円の方向が海岸線と直角になっていることから海陸風が顕著に現れていることが分る。A7の1日周期成分楕円が小さく特徴がな

大きく

24日：22日と同様に海風の勢力が強い日である。B1とC1は昨日同様にW系の成分が見られる。同じB地域でもB1とB2は1日周期成分楕円、1/2日周期成分楕円の形状はかなり異なり地形の影響が大きいことが分る。

D1は讃岐山脈の谷間に位置しているために、他の地域と比較すると風系は変動せず、山谷風が交替している。3日間共に1日周期成分楕円が大きく、偏平率は大きくシャープであった。

以上のことから次のことが考えられる。

A地域の中心部は地形的に海陸風の交替は顕著である。A1の地点は標高470mの山が近接しており、風場は複雑である。A7は備瀬瀬戸と播磨灘からの2種類の海風が観測された。

B地域も大気が安定すると海風が観測されるが、B1とB2は風系が多少異なり、B1はWの局地風が吹走し易く、B2は海風が支配的になる地点である。

C地域は讃岐山脈が後背に位置しているために東西の局地風が発生しやすい。C1はこの傾向が著しい地点である。海風の勢力が著しい日は風速は弱まり収束域になりやすい。²⁾ C2とC3はC1と比較すると風速は弱いが海風は観測出来る地点である。

4) 大気汚染物質の汚染状況

NO_x：NO_xは移動発生源や固定発生源の多い臨海部のA地域が最も高く、図6に示すように内陸部に入るほど減少している。時経列変化も図22に示すようにA、B地域では交通渋滞時にピークが見られるが、C及びD地

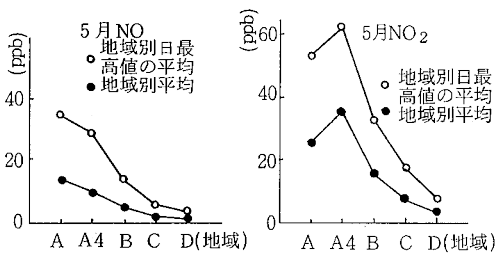


図6 NO、NO₂地域別濃度比較図

域では明確でなくなる。NO_xは近傍の汚染源の寄与が大きい、濃度の低いC地域では日中にNO₂のなだらかなピークが観測され、輸送が示唆された。D1のNO_x濃度は3日間共に2~3 ppbと検出限界に近い値を示した。

O_x：O_x濃度の日変化パターンを地域分けすると(A, B), (C, D)のグループになる。即ち(A, B)は一次汚染物質であるNO濃度が高く、NO+O₃→NO₂の反応により破壊され、12~16時の濃度は(C, D)のような一山型のピークが見られず波状又は直線になり、O_xの生成が制限されていることが分る(図22)。(C, D)は早朝(1~6時)の濃度が高いのが特徴で、図7に示すように(A, B)の約2倍の値を示している。この現象は中讃地域の内陸部とほぼ同様の傾向であった。³⁾⁴⁾

O_x濃度と地上風を図8に示す。3日間のうちで海風が最も卓越したのは22日であったがO_x濃度は3日間共にほぼ同様の値を示している。日中の上層風の鉛直構造は22日が3層で、23, 24日は1層又は2層であった。これは昭和58年度に瀬戸内地域において高濃度が出現した時の気象状態と類似しており、⁵⁾山岳部と内陸部のO_x高濃度出現時のタイムラグがないことや、⁶⁾⁷⁾早朝の濃度が高かったことから推測すると、内陸部の高濃度現象は上空からのO₃の輸送と臨海部から第1次汚染物質が光化学反応を起こしながら輸送され、広域な汚染になったものと考えられる。

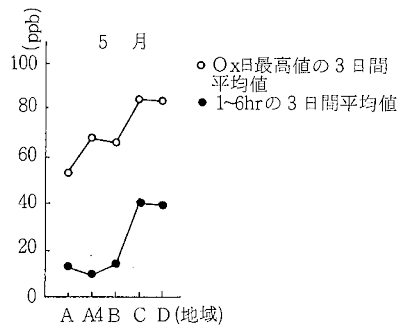


図7 地域別O_x最高値と1~6時の平均濃度比較図

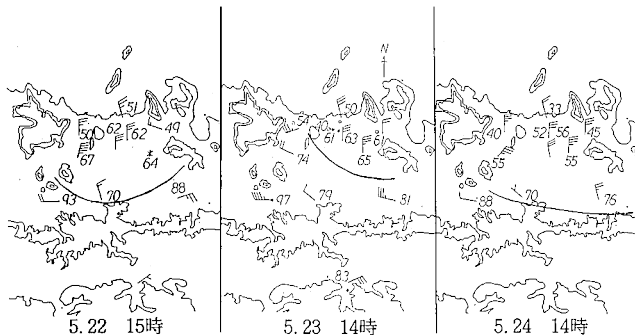


図8 海風前線とO_x濃度

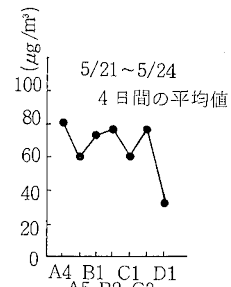
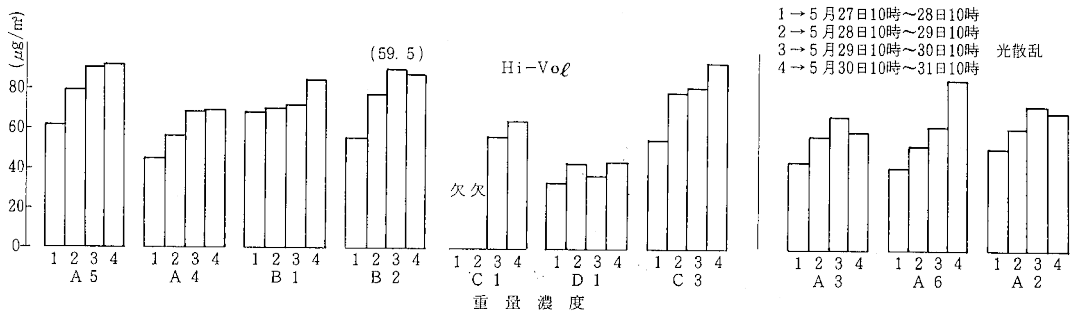


図9 4日間のエアロゾル重量平均値



小さいが広範囲な汚染と考えられる。またA地域の地上と上空60mを比較してもほとんど差がなく、日変動も同様の傾向を示した。

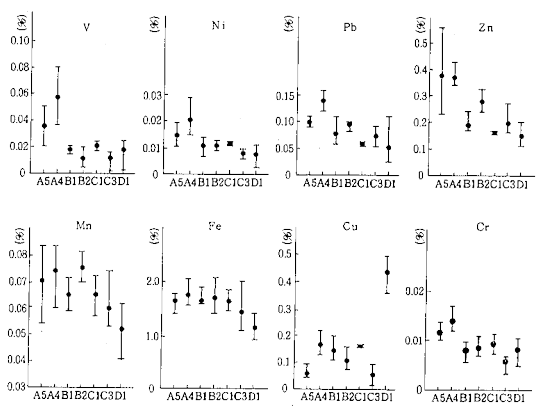
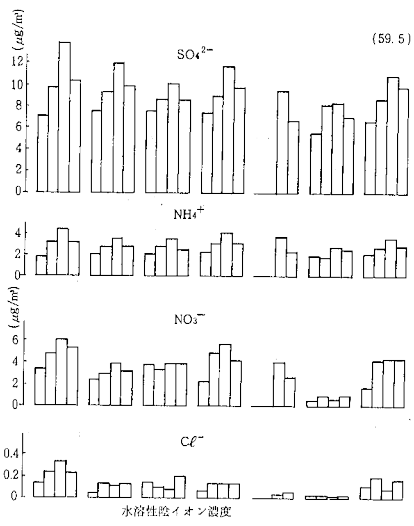


図10 エアロゾル重量濃度と水溶性陰イオン濃度

エアロゾル：重量濃度の地域差が著しいのは図9に示すようにD1で他の地点の約1/2であった。高松市上空60mのA4、内陸部のC1もやや低い傾向が見られた。地点別の日変動は図10に示すように21日から24日と上昇しD1以外はほぼ同じ傾向である。光散乱法のA2、A3、A6ともよく対応している。D1は4日間共にほとんど変動は見られなかった。

水溶性陰イオンはSO₄²⁻、NO₃⁻、NH₄⁺、Cl⁻の4物質について検討した(10, 11図)。

SO₄²⁻濃度の地域差は重量濃度と比較すると小さい。含有率はどの地点も約10~20%であり、D1が22%と最も高い値を示した。日変動も各地点共に23日が最高値であり、パターンもほとんど同じ傾向であった。

NH₄⁺もSO₄²⁻とほとんど同様であった。

このことは、この2物質は直接近傍の汚染源から影響を受けるものではなく広域な汚染によるものと考えられる。

NO₃⁻濃度の地域差は重量濃度と類似しており、含有率もD1以外はあまり差がなく、SO₄²⁻よりスケールは

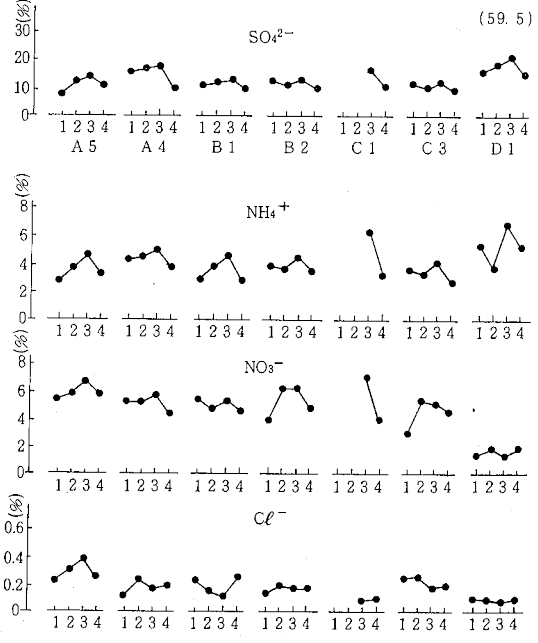


図11 エアロゾル中の金属及び水溶性陰イオンの含有率

Cl⁻はNO₃⁻と同様にA→Dと減少していく傾向があるが濃度や含有率の日変動は特徴がなく、汚染源との関係は不明であった。

水溶性陰イオンを合計すると約30%であった。

金属は燃焼から由来する8物質について、図11に地点別にエアロゾル中の含有率を示す。各金属共に地域別に比較するとA>(B, C)>Dの順になる。石油燃焼に由来するV, Niは発生源の多いA地域が高く、地域性が他の金属よりも明確であった。Fe, Cu, Mnについては地域差が見られなかった。

2. 8月の調査

1) 天気概況

表3に3日間の気象要素を図12に気圧配置を示す。3日間共に日最高気温は35℃前後と暑い日が続きよい天気であったが、日本海側に小型の低気圧があり、最多風向はW系であった。

表3 8月28～30日までの気象要素

項目 月日	平均 気温 (℃)	最高 気温 (℃)	平均 湿度 (%)	日照 時間 (hr)	最大 風速 (m/s)	同風向
8月28日	30.1	35.5	68	9.2	4.6	SW
8月29日	28.8	35.2	66	10.8	3.8	WNW
8月30日	29.3	34.9	65	10.9	4.7	W

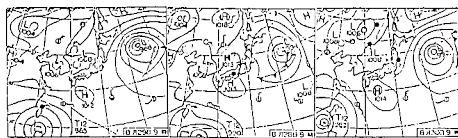


図12 8月29～30日の気圧配置図

2) 上層風と上空温度

図13に上層風と上空温度を示す。

28日における上空の一般風はNWであり地表に近づくにつれてW系になる。鉛直構造は一層構造と考えてよい。この上層風はO_x濃度が高くない²⁾。夜間から早朝にかけて風速は弱まり、29日の3～6時には両地域で陸風が観測された。

29日は9～12時に臨海部において上空100mで海風が観測され、9時には鉛直構造が2層になるが、午後からは前日同様に一層となった。内陸部は日中から30日の午後までWの卓越風が吹走した。

以上のことから上層の一般風が強く地表付近にまで支配しており、大気の状態がよくO_xは高濃度にならないことが考えられる。

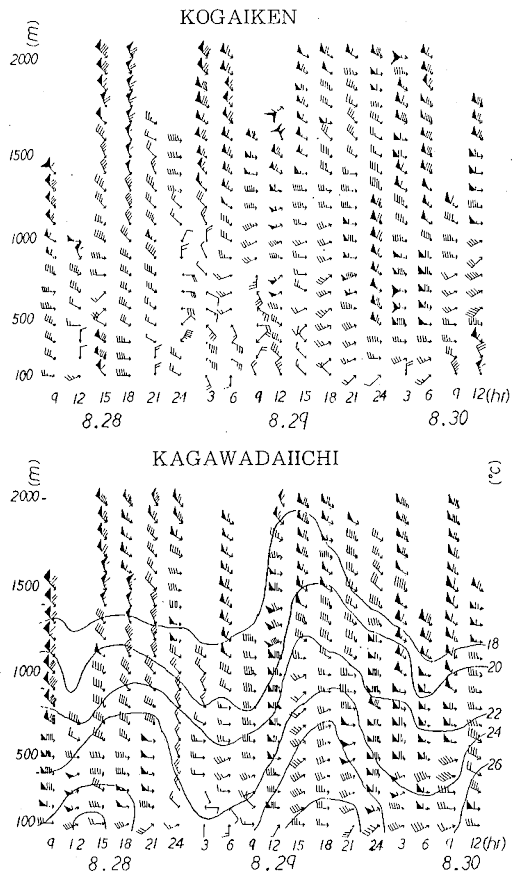


図13 上層風の鉛直分布図

上空温度は1℃以上の逆転層もなく、最大混合層高度は3日間共に1,500m以上の広い拡散場となっている。夜から早朝にかけて1℃前後の接地逆転層が観測された(図14)。

3) 地上風の地域特性

図15に地上風の調和解析を示す。28日の上層風はNW系の一般風が吹いており、地上風もその影響が大きい。A地域ではA1を除きベクトル平均値はNWであり、1日周期成分楕円もやや丸味を帯びてはいるが、傾きがNNWになっていることから、上空の一般風の影響を受けているものと思われる。B及びC地域共にベクトル平均値はWSWであり、讃岐山脈に近づくに従いW系の風となる。C地域の1日周期成分楕円の偏平率は大きくW風が卓越していたことがわかる。B1の地点は1日周期成分楕円及び1/2日周期成分楕円は共に大きく丸味を帯びており、地形の影響が大きいものと思われる。

29日は1日周期成分の形状及び上層風から推察するとA及びB2の地域は海風が吹走していたものと思われる。

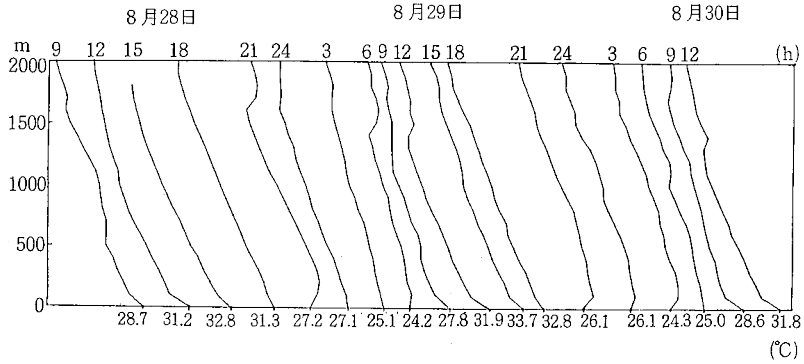


図14 上空温度の鉛直分布図

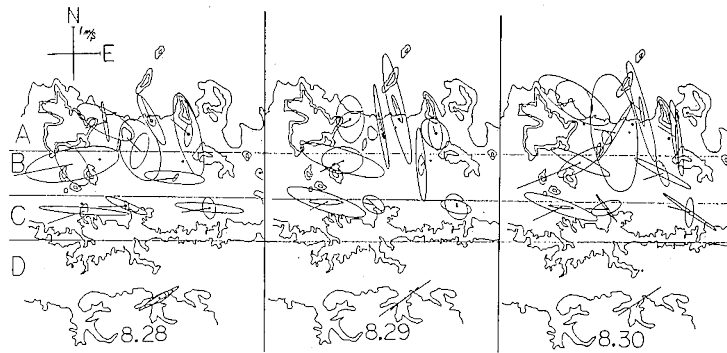


図15 地上風の調和解析図

この地域は地形的にも海風が支配しやすいものと考えられる。同じ臨海部でも A 1 は S W の風が強く他の地点とは風系が異なる特異な地点であり、B 1 の地点と類似している。内陸部の C 1 は他の 2 地点と比較すると W の局地風が発生しやすく、1 日周期成分楕円も大きく偏平率も大きい。C 2 の 1 日周期成分楕円は小さく、C 1 同様に W 風は吹走しているが、風速は弱く、風場は多少異なる。

30日は全地域でベクトル平均値はWの成分が強く、B 1、C 1は顕著である。臨海部の A 6、A 7では1日周期成分楕円の傾きから海風の成分が含まれていることが分かる。山間部の D 1は5月と同様に1日周期成分楕円の偏平率が大きくシャープであることから平野部のように上層風の影響はうけず、山谷風が交替していたものと

思われる。

4) 大気汚染物質の汚染状況

NO_x: 地域別に NO 濃度を比較すると図16に示すように A と (B, C, D) に分けられる。5月と濃度を比較するとほとんど同程度であった。NO₂の地域別濃度比較は A, B, (C, D) に分けられ、濃度は 1/2 に減少している。このことは一次汚染物質である NO はごく近傍の汚染源が大きく影響するが、2次汚染物質である NO₂ は大気の拡散状態により濃度も変動することが分る。5月に観測された内陸部の NO₂ 輸送もなく、NO₂ 濃度は検出限界に近い値であり、山岳部の D 1 とほとんど同程度であった。

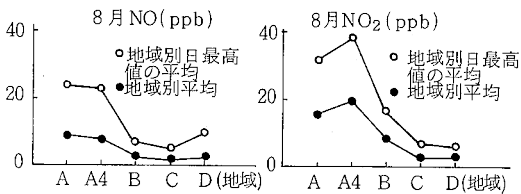


図16 NO、NO₂ 地域別濃度比較図

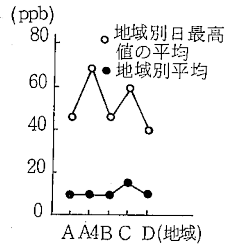


図17 地域別 O_x 最高値と 1 ~ 6 時の平均濃度比較図

O_x: 海陸風の循環が観測されなかった28日の日最高濃度はA 4の55 ppbであり、内陸部も50 ppb以下の低濃度であった。29日は早朝から陸風が吹走し海陸風の交替が見られた。O_xの日最高濃度はA 4の90 ppbで、この他に80 ppb以上を記録したのはA 7, C 1, C 3であった。30日は前日より低くなりC 1の77 ppbが最高値であった(図23)。

地域別のO_x濃度分布は図17に示すようにA 4とC地域が高く、5月に高濃度であったD 1は最も低く、5月とかなり異なる。

3日間のO_x濃度と地上風を示す。上層風の影響を受け地上風はWの成分が支配的で海風前線はB地域までであった。O_xが高濃度であった29日の内陸部の風場は収束域を形成している。

このことからA及びB地域は発生源からの汚染物質の輸送が、C地域ではO₃を含む汚染気塊の移流が寄与しているものと考えられる。D 1は広域汚染の指標になりうると思われる。

エアロゾル: 重量濃度は各地点共に8月30日が最も高い傾向にあるが、日変動は一様でない。地域差は5月よりもさらに小さくなり、均一化されていた(図19)。5月と8月の重量濃度はほぼ同じ値であった。

重量濃度と気象の関係については水野⁸⁾、近藤⁹⁾が指摘しているように海陸風日とは必ずしも対応しておらず、今回の調査日のように日中メソスケールのW風(3~4m/s)が卓越しても濃度はむしろ上昇する傾向が見られた。

水溶性陰イオンのSO₄²⁻とNH₄⁺は地域間における濃度差や含有率の違いはなく、5月とほとんど同じ傾向を示した。NO₃⁻とC1濃度の地域差は5月と同様に内陸部に入るほど減少の傾向が見られ、含有率の日変動は27~30日と減少し、SO₄²⁻と全く逆の変動を示した。水溶性陰イオンの日変動は5月と比べて大きく、SO₄²⁻、NH₄⁺の増加が目立った(図20, 21)。

金属についてはV, NiはA地域で高く、5月とほぼ同様の傾向が見られた。他の金属については地域差が5月

の調査時のように明確でなく、濃度も水溶性陰イオンとは逆に減少していた(図21)。

ま と め

以上のことから本県東部地域における気象状態、大気汚染物質の濃度分布及び高濃度状況は次のことが考えられた。

1. 海風の侵入域は海岸線から10数kmに及ぶものと思われる。海風の高さは約200mであった。地上風は地域特性が見られ、内陸部のB 1, C 1はWの局地風の発生し易い地点であった。
2. NO_xは近傍の汚染源の寄与が大きく、内陸部へ行くほど濃度は低くなる。C 1の地点では日中の濃度変動からNO₂の輸送も示唆された。
3. O_xの高濃度出現傾向は5月と8月では多少異なり、つゆ入り前の5月は大気が安定しており、O₃の汚染気塊が滞留しやすい。第一次汚染物質の少ない内陸部では早朝の濃度は高く、日中は一様に高濃度を記録した。成層圏からのO₃の寄与も考えられ、光化学反応が活発になると広域な高濃度化が推測される。8月の調査では早朝のO_x濃度も低く、しかも海風が発達しなかったために、5月では低い値を示したA地域が80 ppb以上の高濃度を記録したが、B, D地域では日最高濃度が59 ppbと低く、高濃度地域は5月とかなり異なる結果になった。
4. C 1の地点におけるO_x濃度は5月、8月共に高濃度を記録し、気象状態やNO_x濃度から推察するとO₃を含む汚染気塊の移流によるものと考えられる。
5. エアロゾルについては次の事が指摘された。
 - 1) 重量濃度はD 1, C 1の地点で低い値を示したが、他の地点間には大きな差が見られなかった。市街地の地上と上空60mの濃度を比較すると5月は約20%程度後者が低い値を示したが、8月はほとんど差がなかった。

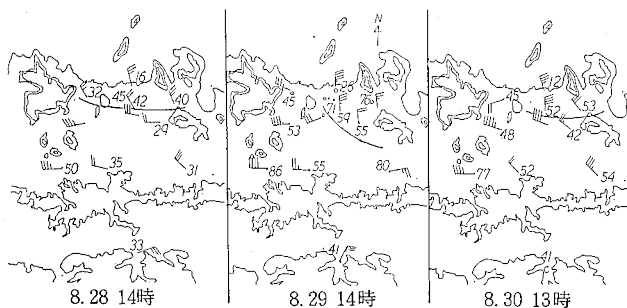


図18 海風前線とO_x濃度

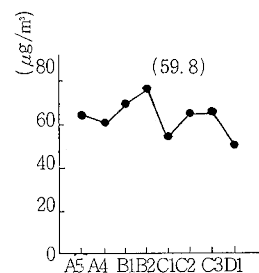


図19 4日間のエアロゾル重量濃度平均値

2) 水溶性陰イオンの SO_4^{2-} 、 NH_4^+ は各地点共に含有率の差はなく、広域な汚染であった。 NO_3^- は SO_4^{2-} ほど広範囲なものではなく、多少汚染源の影響を受けている。

3) 金属の濃度分布は石油燃焼に由来のある V, Ni に $A > (B, C, D)$ の地域差が見られた。他の金属は5月にはV, Niと類似していたが、8月は地域性が見られなかった。

本調査の実施に当り、機器の設営、管理に多大な御協力を頂いた高松市公害課の方々には深く感謝致します。

また、特別観測地点として、設置場所を快く提供して頂いた香川第一中学校、檀紙小学校、川添小学校、昭和小学校、氷上小学校及び百十四ビルの方々に厚くお礼申し上げます。

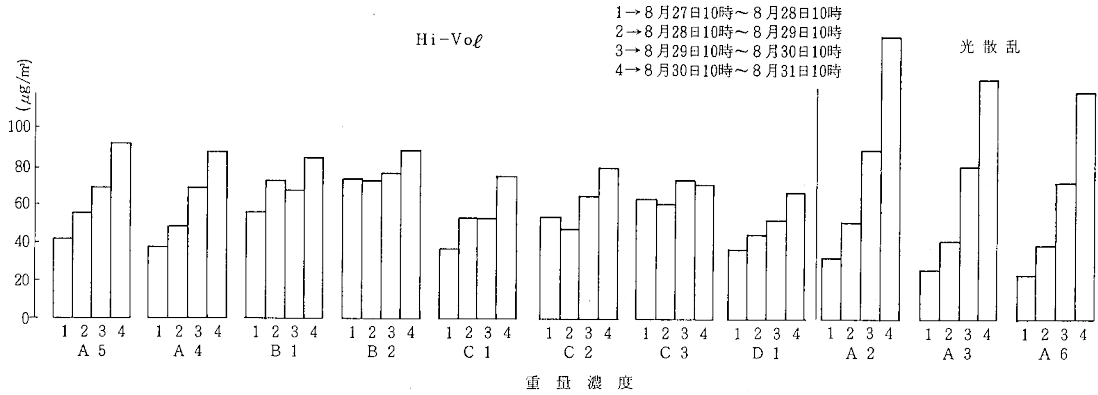
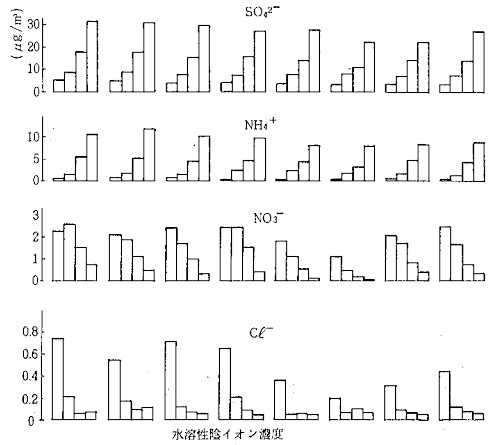


図20 エアロゾル重量濃度と水溶性陰イオン濃度

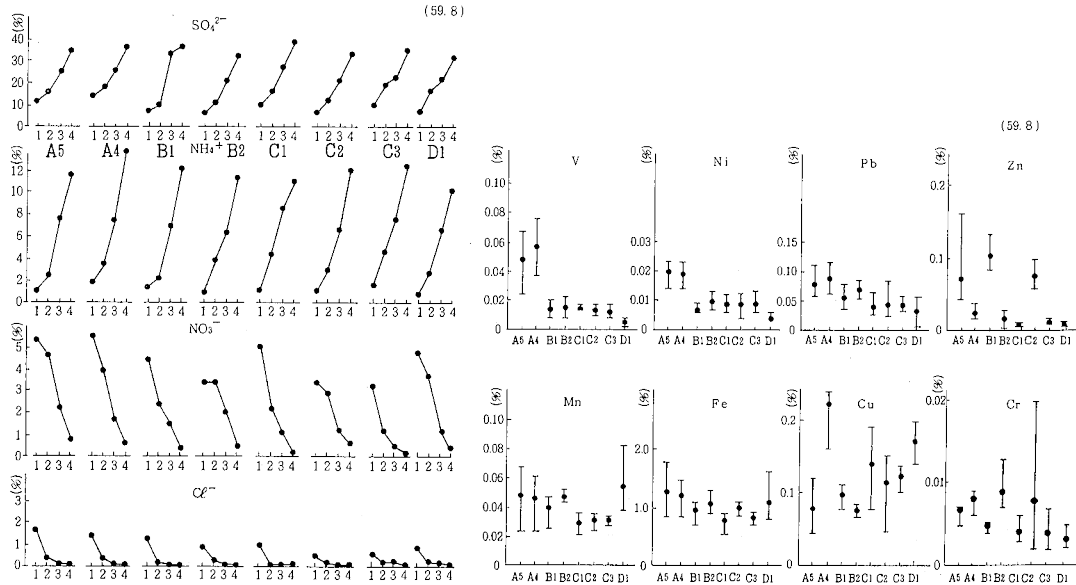


図21 エアロゾル中の金属及び水溶性陰イオンの含有率

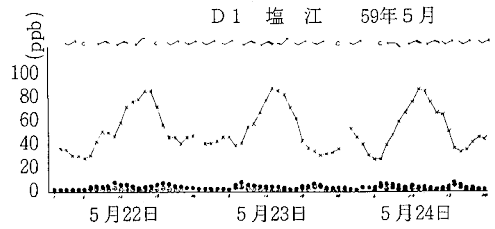
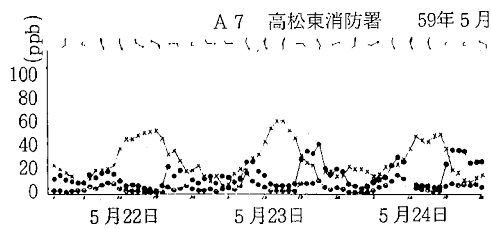
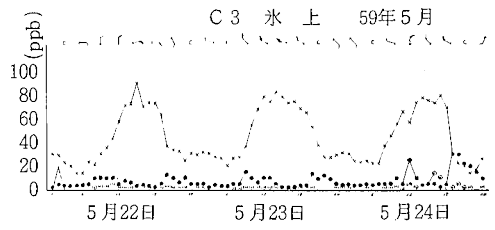
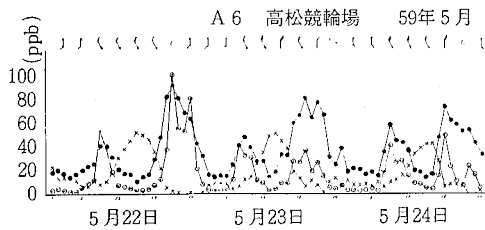
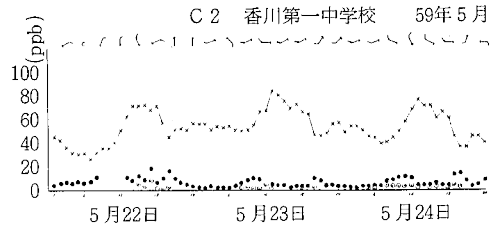
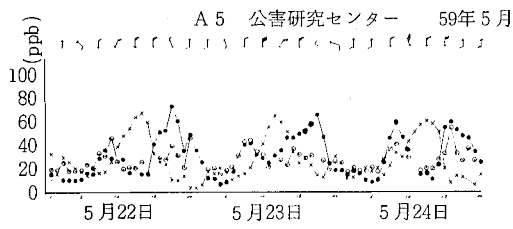
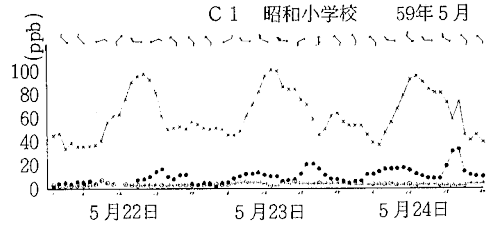
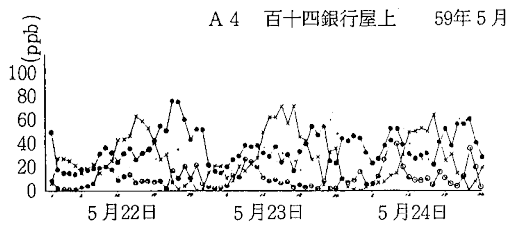
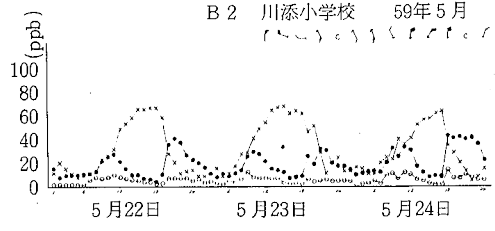
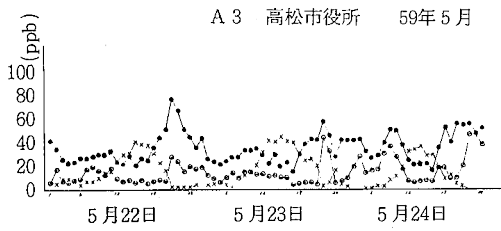
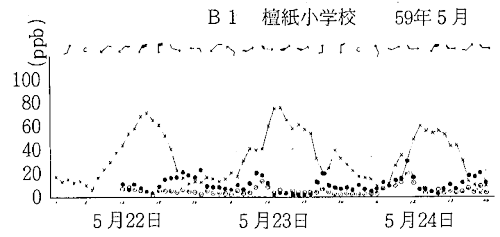
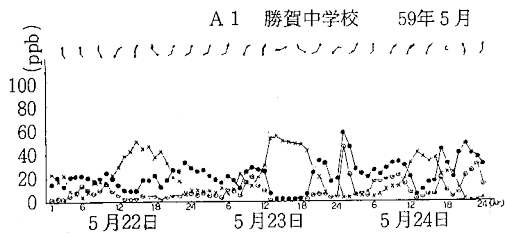


図22 5月のNO、NO₂、O₃の時経列変化図

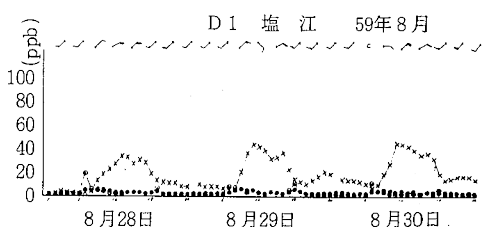
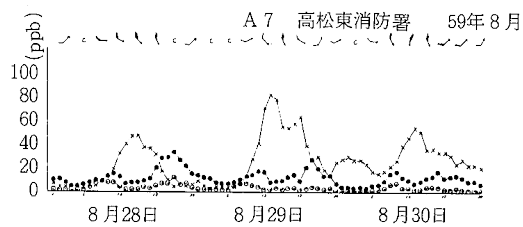
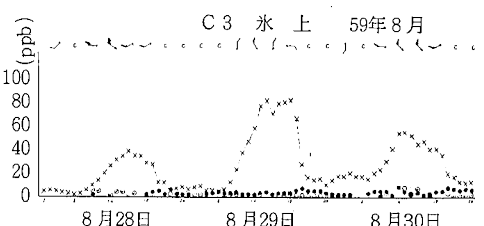
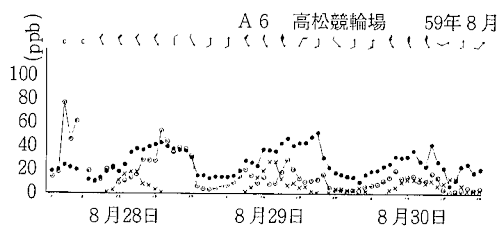
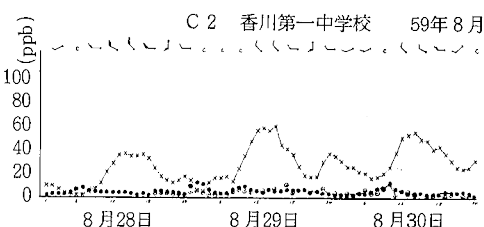
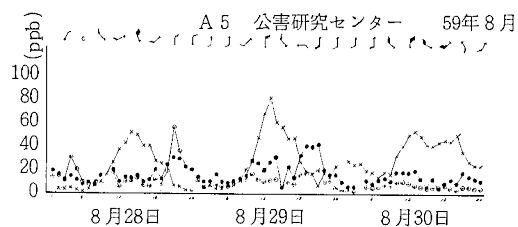
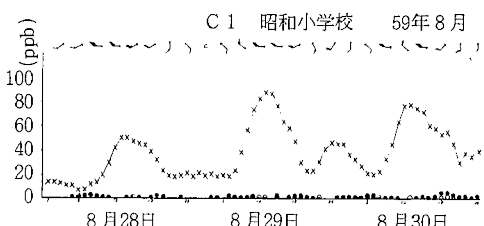
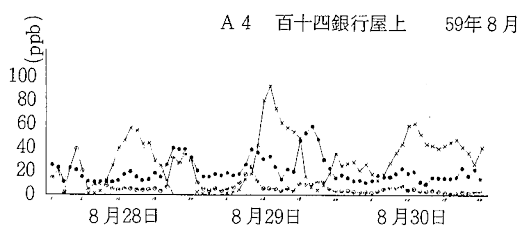
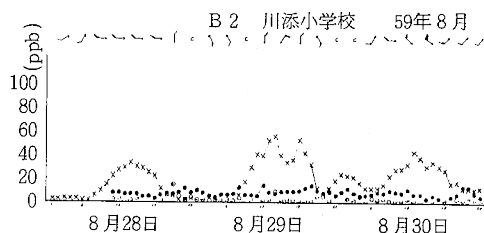
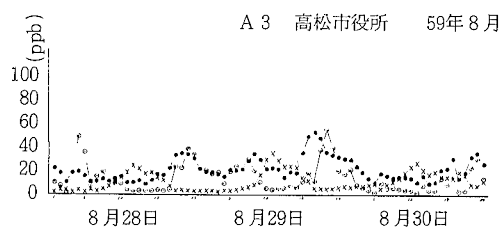
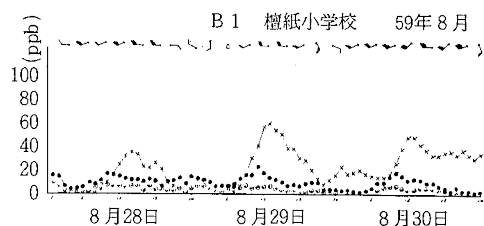
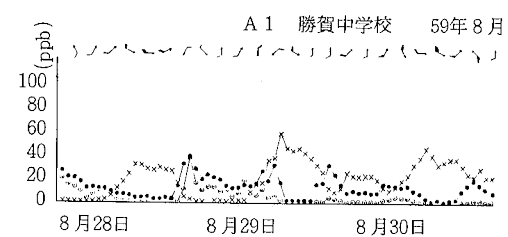


図23 8月のNO、NO₂、O₃の時経列変化図

文 献

- 1) 木村正樹, 岩崎幹男, 山本務, 他: 香川県公害研究センター所報, 8, 61, (1983)
- 2) 気象研究所, 気象研究所技術報告, 11, 50, (1984)
- 3) 岩崎幹男, 中野智, 山本務, 他: 香川県公害研究センター所報, 7, 103, (1982)
- 4) 山本務, 岩崎幹男, 木村正樹, 他: 香川県公害研究センター所報, 8, 49, (1983)
- 5) 岩崎幹男, 木村正樹, 山本務, 他: 香川県公害研究センター, 8, 75, (1983)
- 6) 鶴田治雄, 小川利紘, 第25回大気汚染学会講演要旨集, 302, (1984)
- 7) 工業技術院公害資源研究所, 公害, 17, 2, 1, (1982)
- 8) 工業技術院公害資源研究所, 公害, 19, 16, 65, (1982)
- 9) 近藤裕昭, 北林興二, 横山長之, 第25回大気汚染学会講演要旨集, p 675,