

瀬戸内光化学オキシダント広域汚染日における香川県の海陸風と汚染質について

— 中讃地域と高松地域とを対比して —

Land and Sea Breezes and Pollutants in Kagawa Prefecture on the Days When Inland Sea Area was widely Polluted by Photochemical Oxidants
— In Comparison with Chusan Area and Takamatsu Area —

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

瀬戸内地域の光化学オキシダント広域汚染日のうち汚染日が連続した昭和51年6月28日、29日、昭和53年7月20日、21日の4日を選び、瀬戸内地域全体の風の様子を調べた後、香川県における気象と汚染質の挙動を調べた。

その結果、本県の中讃地域と高松地域とでは汚染の状態が異なることがわかった。高松地域では建築物等の影響を受けて海風が抑えられたり、近傍から都市生活による窒素酸化物の汚染を受けるなど都市型の汚染が出現しているが、中讃地域では、そのような効果は見られなかった。

はじめに

二次汚染物質である光化学オキシダントは汚染が広域にわたること、人体被害があること等の点から社会的影響度の高い汚染質であることは周知のとおりである。

本県でもテレメータシステムにより光化学オキシダント(Ox)やOx生成に関係すると考えられている一酸化窒素化合物(NO)、二酸化窒素化合物(NO₂)等を常時監視している。

しかしながら、汚染の広域性を考えると、本県のみでのデータでは不十分であり広域的な視野に立って汚染質の挙動を解析する必要がある。

今回、瀬戸内海に面した中四国地方の6県のデータを利用してOx広域汚染日を選び、まず瀬戸内地域の風の様子を調べ、次に本県の気象(主として海陸風)と汚染質の関係について若干の解析を行ったので報告する。

調査方法

1. 調査期間

解析すべき期間設定のため次のことを行った。

瀬戸内海に面した中四国地方の6県(山口県、広島県、岡山県、愛媛県、香川県、徳島県)の昭和50年度から55年度までの6年間の4月から10月までの昼間(6時から

20時)の資料¹⁾を用いて、Ox日最高濃度が6県とも80ppb以上であり、その日最高濃度の平均濃度が100ppb以上となった日を広域汚染日として選んだ結果を表1に示す。

次に広域汚染日が連続して出現し、Oxが100ppb以上になった県の数が多い昭和51年6月28日～29日の梅雨期と昭和53年7月20日～21日の盛夏期の2組を調査期間として選んだ。

2. 調査地点

図1-1に瀬戸内地域の調査地点を、図1-2に香川県の調査地点を示す。なお香川県の調査地点に関しては次のとおり略した。

中讃地域

坂出(坂出市役所)、瀬居(瀬居島)、沙弥(沙弥島)、林田(林田出張所)、相模坊(相模坊神社)、宇多津(宇多津町役場)、丸亀(丸亀市役所)、城坤(城坤小学校)、多度津(多度津町役場)、四電(四電坂出力)

高松地域

高松(高松市役所)、競輪(競輪場)、南消防(高松南消防署)、勝賀(勝賀中学校)、栗林(栗林公園前) 中讃地域と高松地域は五色台(最高峰は大平山の479m)によって分けられている。

中讃地域には四電に代表される大規模発生源があり、県都の高松地域と様子を異にしている。

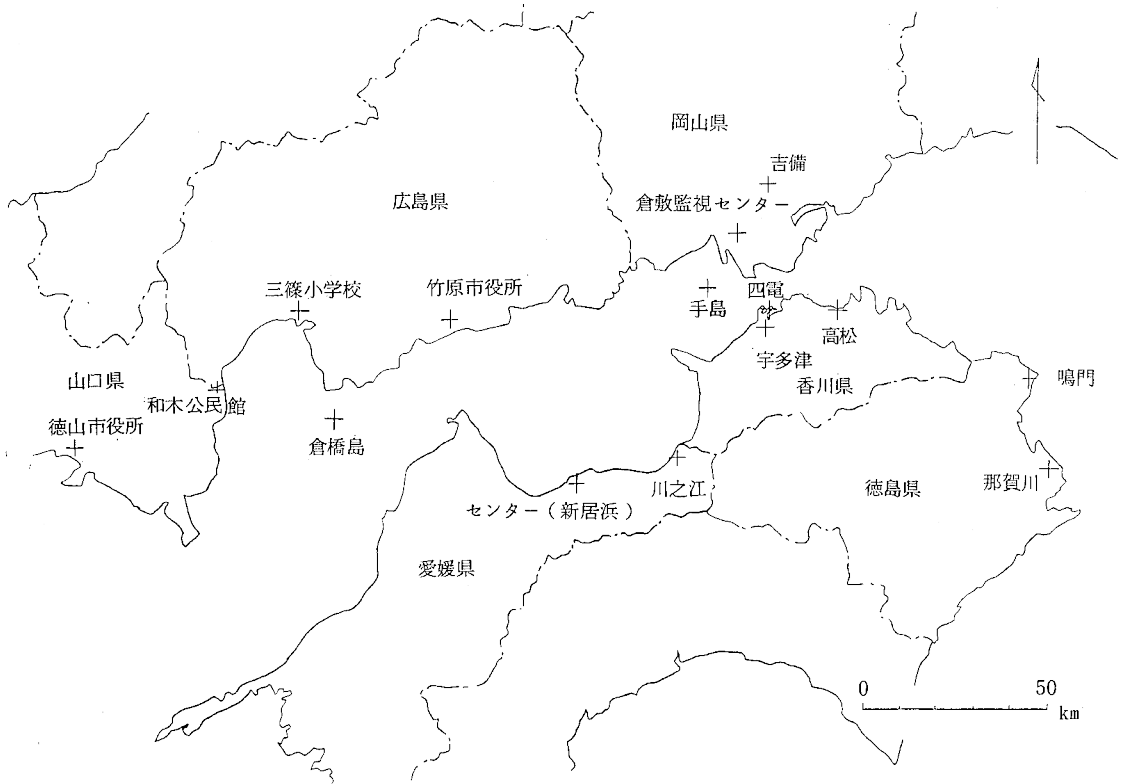


図1-1 瀬戸内地域の調査地点

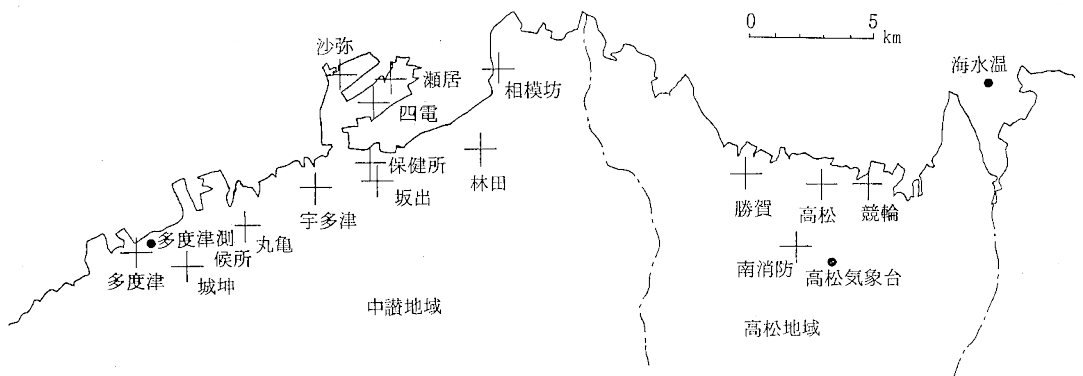


図1-2 香川県の調査地点

表 1. 広域汚染日一覧

年月日	6 県のOx日最高濃度(ppb)			100ppb以上の県数
	最高	最低	平均	
50. 6. 13	117	80	105	4
6. 15	130	92	105	3
7. 19	127	80	108	3
8. 25	127	83	108	5
51. 6. 17	110	90	104	5
6. 28	174	108	137	6
6. 29	189	109	147	6
7. 8	114	82	100	4
9. 7	147	82	111	4
52. 5. 28	153	88	109	2
6. 5	131	100	122	6
6. 9	145	88	105	3
6. 21	126	84	101	3
8. 2	135	87	103	3
8. 3	146	84	113	4
10. 15	109	93	102	4
53. 5. 13	120	85	102	3
5. 28	138	94	115	4
6. 2	125	84	108	4
6. 8	134	82	107	3
6. 14	115	87	104	4
7. 6	156	97	126	5
7. 20	153	91	114	4
7. 21	123	85	109	5
9. 23	124	91	106	4
10. 3	122	83	102	4
54. 9. 21	122	86	103	3
55. 6. 6	142	81	117	4

3. 調査項目

大気汚染物質としてOx, NO, NO₂をとった。なお汚染質の濃度は新測定法に基づく値に換算^{2),3)}してある。

大気拡散のパラメータとして風の鉛直分布, 気温の鉛直分布(共に保健所), 高度 200 m の風(四電), 地上

風, 地上気圧(西郷, 足摺, 厳原, 大阪の各測候所又は地方気象台等), 海水温(香川県水産試験場), 地上気温(高松地方気象台, 多度津測候所)

なお地上気圧から地衡風の計算は次のとおり行った。

東西方向として厳原, 大阪, 南北方向として西郷, 足摺の 9 時の海面気圧をとり, 厳原, 大阪間距離 ΔX , 気圧差 ΔP_x , 西郷, 足摺間距離 ΔY , 気圧差 ΔP_y として気圧傾度ベクトル ($\Delta P_x/\Delta X, \Delta P_y/\Delta Y$) mb/1000 km を求めた。地衡風向として気圧ベクトル方向に 90° 加算し, 地衡風速⁴⁾として気圧傾度ベクトルの大きさに 0.95 を乗じた。

調査期間中の天気概況

調査期間中の 9 時と 21 時の天気図を図 2 に示す。なお, 各調査日の天気概況は次のとおりである。

1) 昭和 51 年 6 月 28 日~29 日

6 月 28 日: 高気圧が本州付近をおおい梅雨前線が本州の南に下がっていて梅雨の中休みの状態であった。台風 7 号が南シナ海に, 台風 8 号が沖縄の南東海上を北西に進んでいた。高松の天気(6 時~18 時)は薄曇りのち晴であった。

6 月 29 日: オホーツク海にある高気圧が日本をおおっており梅雨前線は日本の南海上に停滞していた。その南に台風が 2 つあり, 前線を北へ押し上げようとしているが, オホーツク高気圧の勢力に阻まれていた。

高松の天気(6 時~18 時)は晴であった。

2) 昭和 53 年 7 月 20 日~21 日

7 月 20 日: 北海道のはるか南東海上に中心を持つ大き

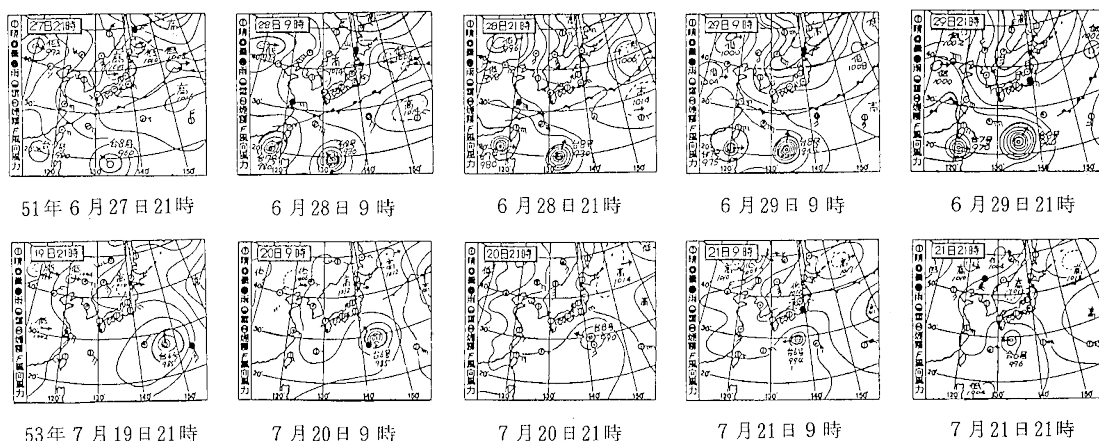


図 2 調査期間中の地上天気図

な高気圧におおわれて天気は良かった。
日本の南海上には台風6号があって西北西に進んでいた。

高松の天気(6時~18時)は晴一時曇であった。

7月21日:日本の南海上の台風は高気圧の影響で日本になかなか近づけなかった。

台風の間接的な影響で関東地方では、にわか雨が降ったが高松の天気(6時~18時)は晴であった。

調査期間は上述したように梅雨期と盛夏期に分けられる。

調査結果および考察

1. 瀬戸内地域の風の調和解析

環境庁の資料によれば瀬戸内地域では、Ox 広域汚染日においても気象因子(最高気温、平均気温、日較差、日照時間等)について日により、あるいは県により、かなりの差があって統一的な事象が見出せていない。

またOxやNO₂等の汚染質についても同様である。

したがってここでは調和解析の手法によって瀬戸内地域の風の場の把握だけにとどめる。

瀬戸内地域の風の調和解析の結果を図3-1~図3-4に示す。

1) 岡山県の風の調和解析

岡山平野に侵入してくる海風には2種類存在すると言われている。すなわち倉敷監視センター局ではSW方向の海風が、ただし上空でNE方向の風が強い日には岡山平野を越えてE~SE方向の海風が侵入して来る。一方、吉備局は岡山平野の中央部に位置していてSE, SW方向の2種類の海風が時間差を伴って侵入して来て、短時間での小規模なじょう乱が発生することがある。

2) 広島県, 山口県, 愛媛県の風の調和解析

広島県の竹原市役所局, 三篠小学校局, 山口県の和木公民館局, 徳山市役所局, 愛媛県の川之江局, センター局の計6局のベクトル平均値, 1日周期および半日周期成分楕円については4日とも各々が同様のパターンを示し気圧傾度ベクトルの大きさ(表2参照), あるいは上空風の風向風速の変化の影響はほとんど受けていない。また, 6局の1日周期成分楕円の偏平率は大きく, 風を境にして一気に交替している。

3) 徳島県の風の調和解析

徳島県的那賀川局, 鳴門局は他県の局に比べて風が強く, 半日周期成分楕円もやや大きい。昼間の海風はかなり変形しており, 一般に鳴門海峡に平行に近い角度で吹

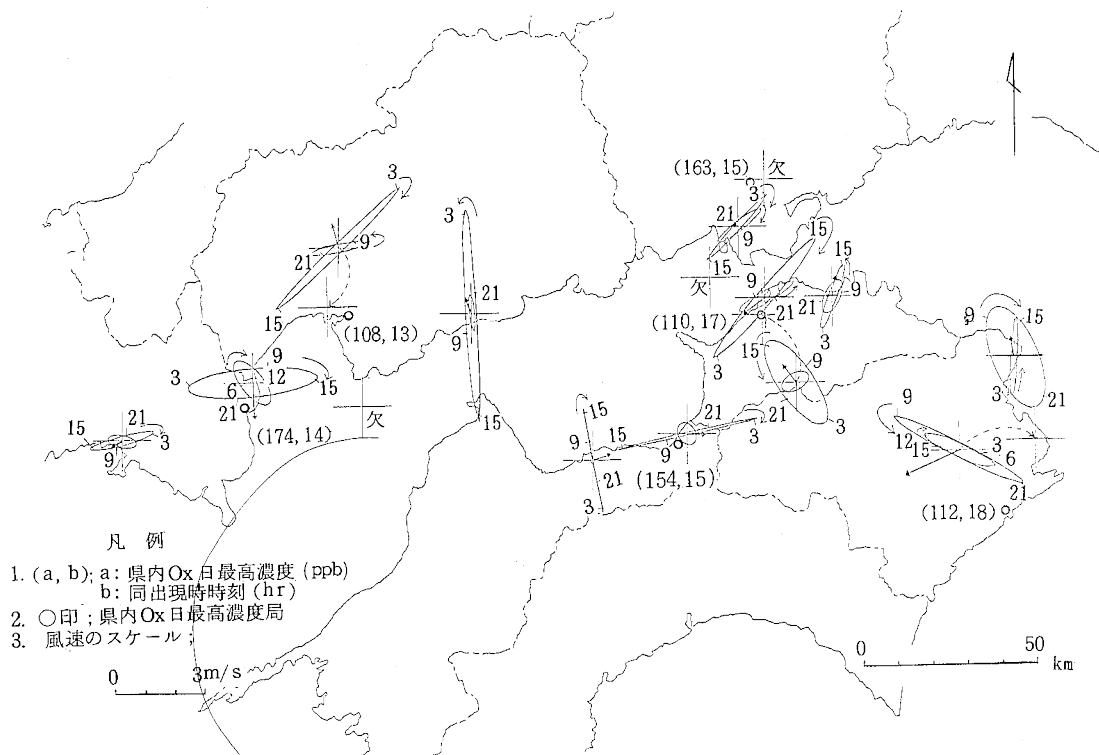


図3-1 瀬戸内地域の風の調和解析(昭和51年6月28日)

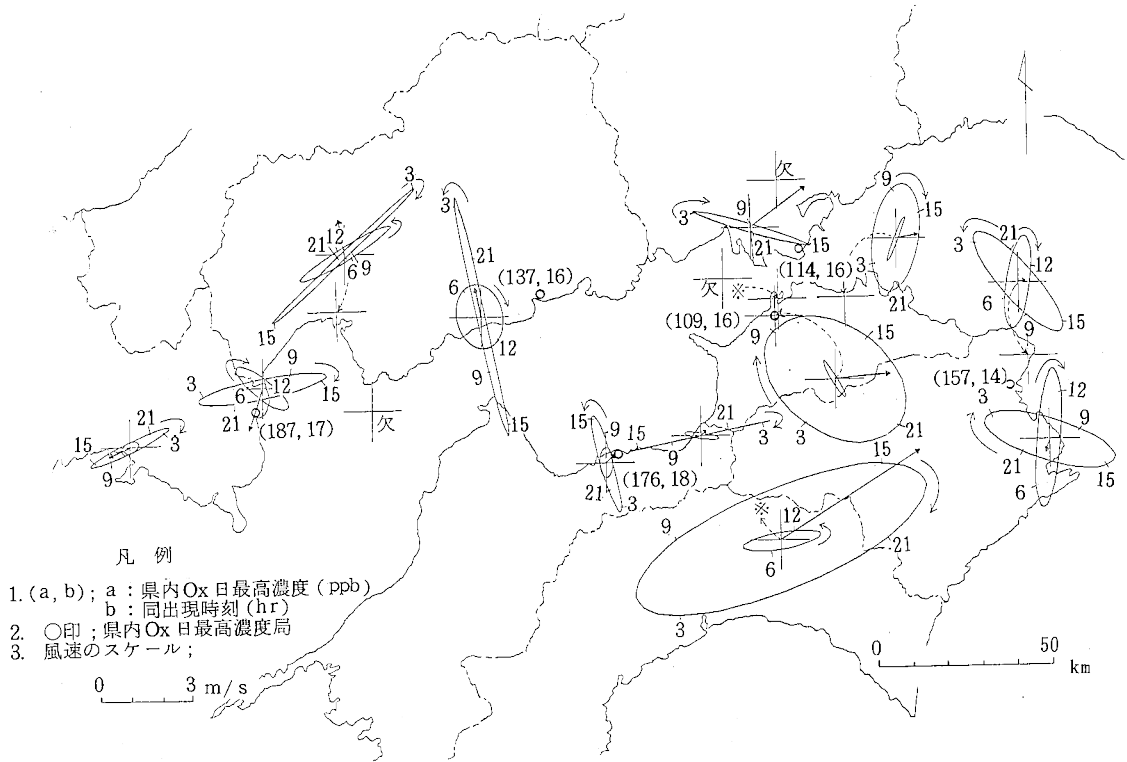


図3-2 瀬戸内地域の風の調和解析 (昭和51年6月29日)

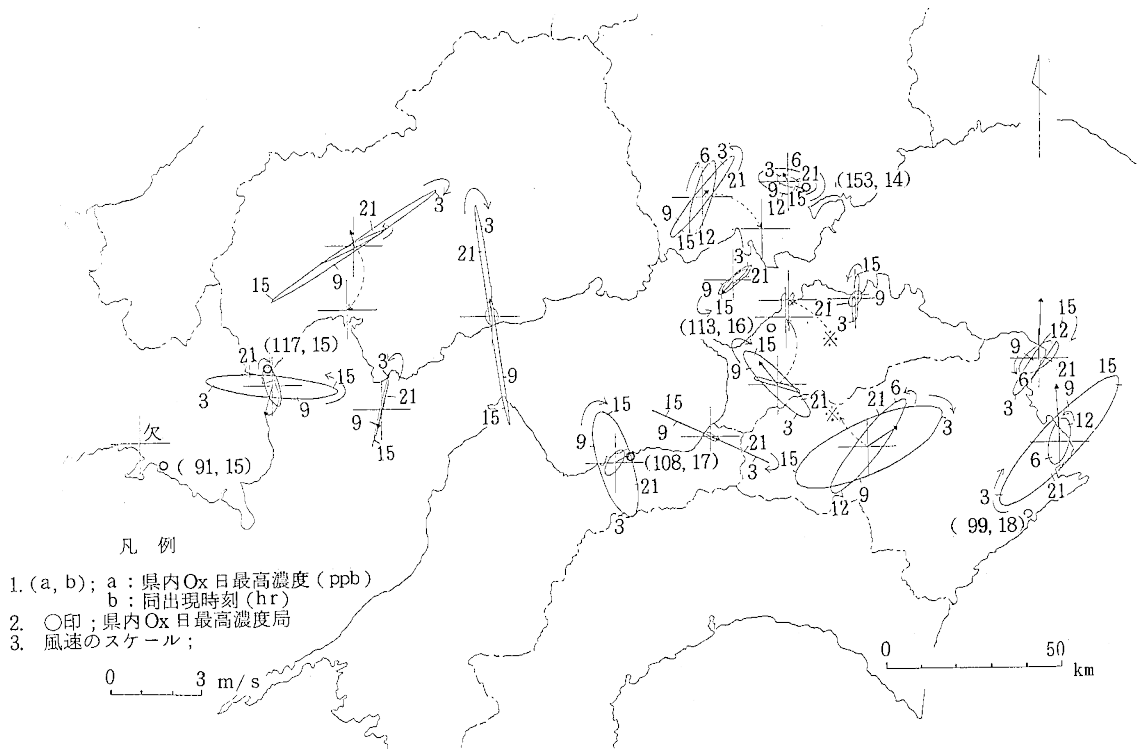


図3-3 瀬戸内地域の風の調和解析 (昭和53年7月20日)

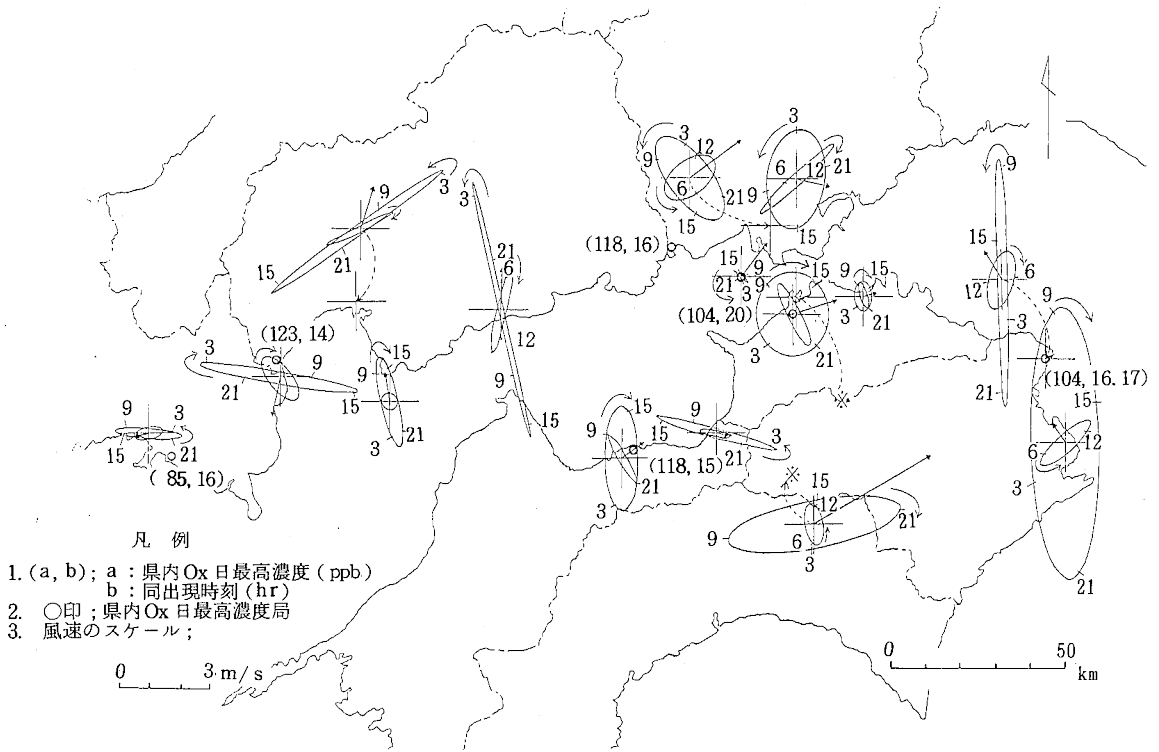


図3-4 瀬戸内地域の風の調和解析 (昭和53年7月21日)

表2. 地 衡 風

年 月 日	気 圧 傾 度 ベ ク ト ル			上 空 風 平 均 ベ ク ト ル	
	気圧傾度力 mb/1000km	地衡風向 16方位	地衡風速 m/s	風 向 16方位	風 速 m/s
51. 6. 28	3.6	ESE	3.4	SW	1.9
6. 29	7.0	ENE	6.7	NE	6.3
53. 7. 20	3.4	ENE	3.2	NE	2.6
7. 21	7.4	ENE	7.0	ENE	4.7

注) 地衡風向は気圧傾度ベクトルの方向に90°加算して求めた値であり、風上を示す。
上空風として四電(高度200m)の風を用いた。

き込み地形の影響を受けている。

4) 香川県の風の調和解析

香川県の高松局、宇多津局の2局は上空風が弱い日にはそれぞれ海岸線に直角方向の海風が侵入し、1日周期成分楕円の偏平率が大きい。逆に上空でNE方向の風が強い日にはE成分を含む海風となり、1日周期成分楕円の偏平率はやや小さくなり上空風の影響を受けている。

5) 島しょ部の風の調和解析

広島県の倉橋島局、香川県の手島局は一般に弱風であり、陸地部で観測されるような海陸風の交替はない模様である。

6) 四電(高度200m)の風の調和解析

4日間ともベクトル平均値および1日周期成分楕円の長軸方向は瀬戸内海に沿ったNE又はSW方向であって地形の影響を受けている。

また地衡風あるいは一般風の強い日にはベクトル平均値の大きさも計算で求めた地衡風にはほぼ一致している。

風の調和解析の結果、広域汚染日には海陸風の交替があって汚染質が瀬戸内海上に蓄積されたことが推測されるが、局地的には日により、あるいは地域によって海陸風の吹き方にもかなりの差があることがわかった。

次にOx広域汚染日における本県の状況について風の

場と汚染質の関係から解析を行った。

2. 気温の鉛直分布

汚染質の鉛直方向への拡散の可能性を調べるため高度0～2000 mまでの気温の鉛直分布を図4に示した。

図4から大気不安定度を調べた。

昭和51年6月28日は300 m～400 mと500 m～600 mにそれぞれ0.6℃、0.3℃の逆転層があった。

昭和51年6月29日は400 m～500 mにかけて等温層が500 m～600 mにかけて0.4℃の逆転層があった。

昭和53年7月20日は500 m～600 mにかけて等温層があった。

昭和53年7月21日は500 m～600 mにかけて0.3℃の逆転層があった。

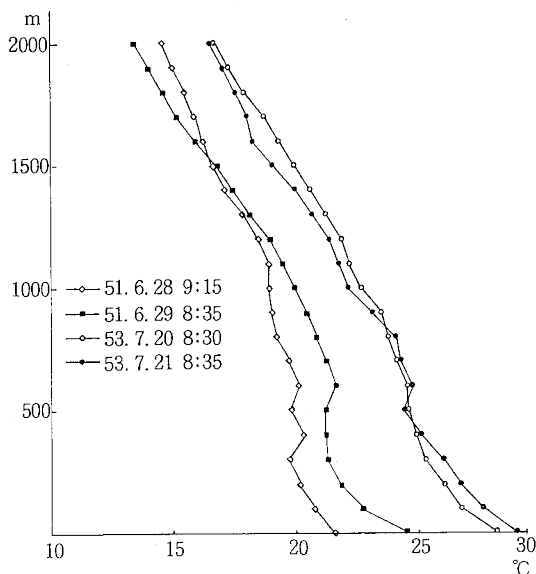


図4 気温の鉛直分布

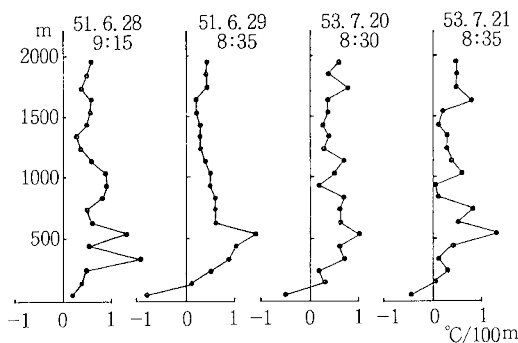


図5 大気不安定度の鉛直分布

次に大気安定度の鉛直分布を図5に示した。

大気安定度の計算には次式を用いた。

$$S = dT / dZ + \Gamma d \quad (^\circ\text{C} / 100 \text{ m})$$

dT / dZ : 観測高度区間の気温減率

Γd : 乾燥断熱減率 ($\approx 1^\circ\text{C} / 100 \text{ m}$)

4日間とも地表に極く近い部分を除いて2000 mまで大気は安定又は中立であり、また逆転層や等温層は約500 m～600 mに存在し、汚染の進行しやすい日であったと思われる。

3. 香川県の風の調和解析

香川県の海陸風の解析のため風を調和解析し、結果を図6-1～図6-4に示す。

1) 昭和51年6月28日～29日

6月28日：一般風が弱い日でベクトル平均値の方向は海岸線に直角で海風成分が陸風成分より大きい。ベクトル平均値の大きさは1 m/s以下であり小さい。

1日周期成分楕円の長軸がベクトル平均値の方向とよく一致し、楕円の扁平率は大きく海陸風の交替が顕著である。

半日周期成分楕円は小さい。

一般風の勢力が弱くて海陸風が発達した日であった。

6月29日：一般風が強い日でベクトル平均値の方向は海岸線に平行で、大きさも大きい。

1日周期成分楕円は大きい長軸がベクトル平均値の方向と一致せず、扁平率の小さい楕円である。

半日周期成分楕円は全体としては小さい。一般風の勢力が強くて海陸風に重ね合わさった日であった。

2) 昭和53年7月20日～21日

7月20日：6月28日と同様である。

7月21日：6月28日と比べて一般風の影響はやや小さいがパターンは6月29日と同様である。

風を調和解析した結果、全体的なパターンは中讃、高松地域とも変わらないが、ベクトル平均値や1日周期成分楕円の大きさでは中讃地域の方が大きく、一般に中讃地域の方が一般風の影響を受けやすい地域である。

中讃、高松地域ともに調査期間中の各日とも海陸風の交替があった。その海陸風交替の時刻については汚染質の経時変化の項で後述する。

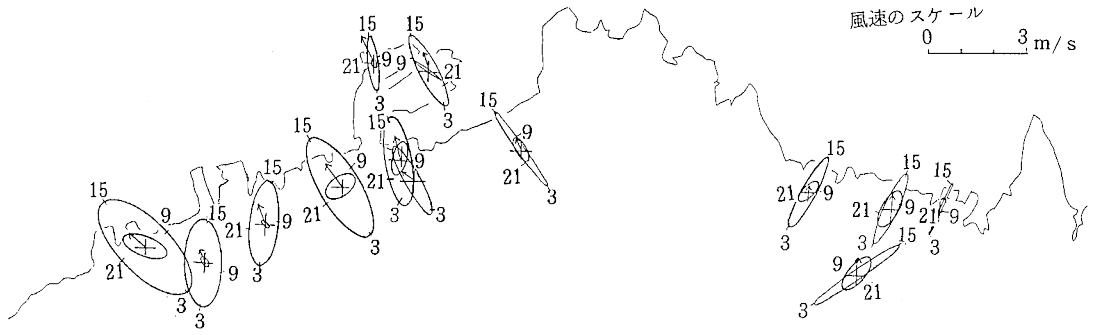


図6-1 香川県の風の調和解析 (昭和51年6月28日)

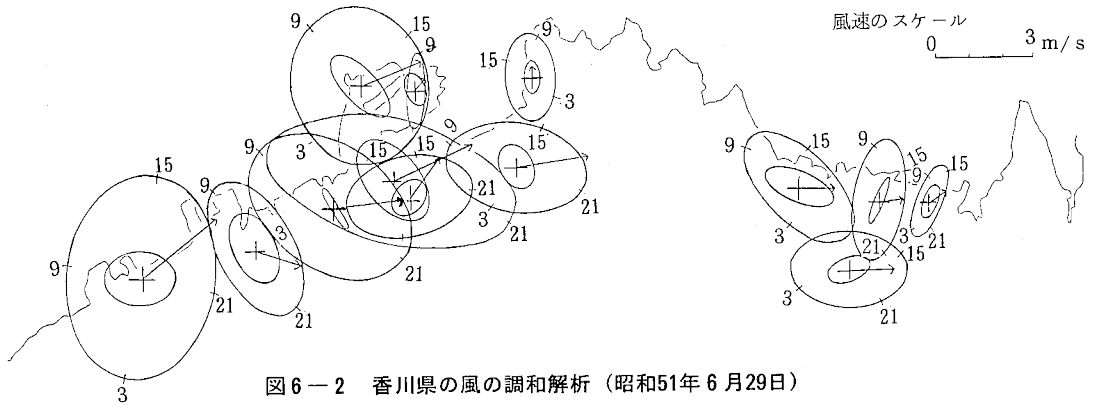


図6-2 香川県の風の調和解析 (昭和51年6月29日)

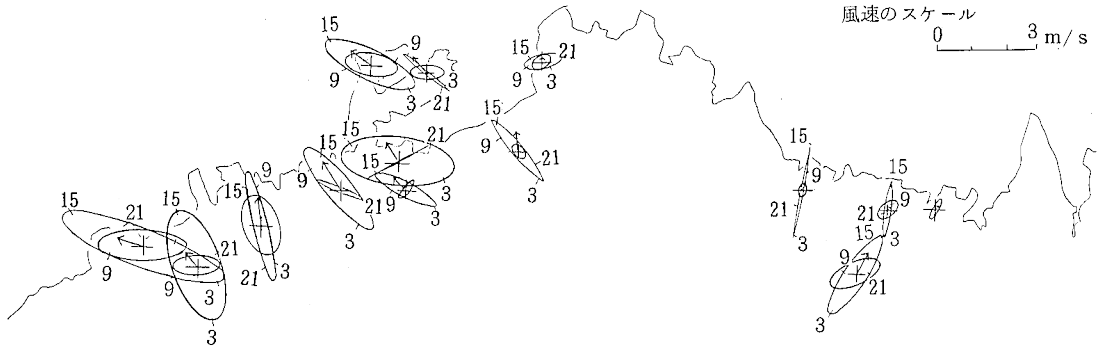


図6-3 香川県の風の調和解析 (昭和53年7月20日)

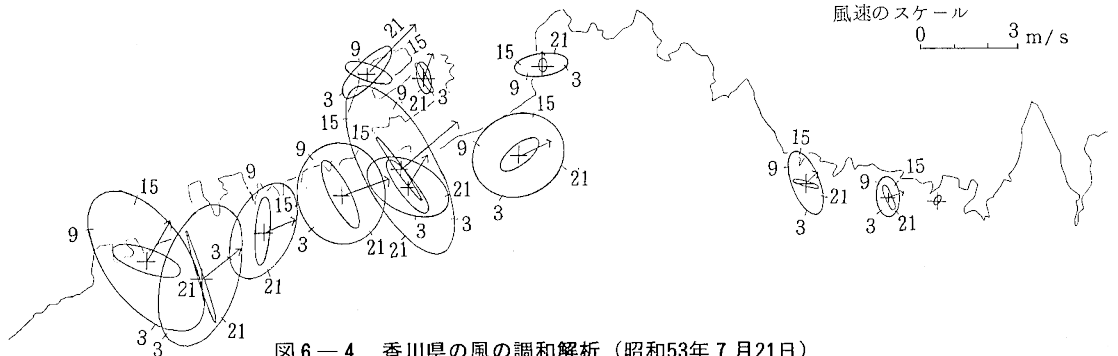


図6-4 香川県の風の調和解析 (昭和53年7月21日)

4. 風の鉛直分布

上空における海風の出現状況を調べるため風の鉛直分布を図7に示す。

1) 昭和51年 6月28日～29日

6月28日：一般風の勢力が弱かったため高度1500 mまでに三層構造を示している。地表付近では海風が、上空では一般風が吹いている。その間に中間層が存在し、海風と中間層の反流とで循環風系が形成されている。

6月29日：一般風の勢力が強かったため高度1500 m

までに二層構造を示している。地表付近では海風が、上空では一般風が吹いており、その間には中間層の存在は認められない。

2) 昭和53年 7月20日～21日

7月20日：6月28日とパターンが同じ。

7月21日：6月29日とパターンが同じ。

風の鉛直分布の結果は風の調解析の結果と一致する。すなわち4日間とも海風の存在は確認できたが、6月29日と7月21日は一般風の影響を受けた日であった。

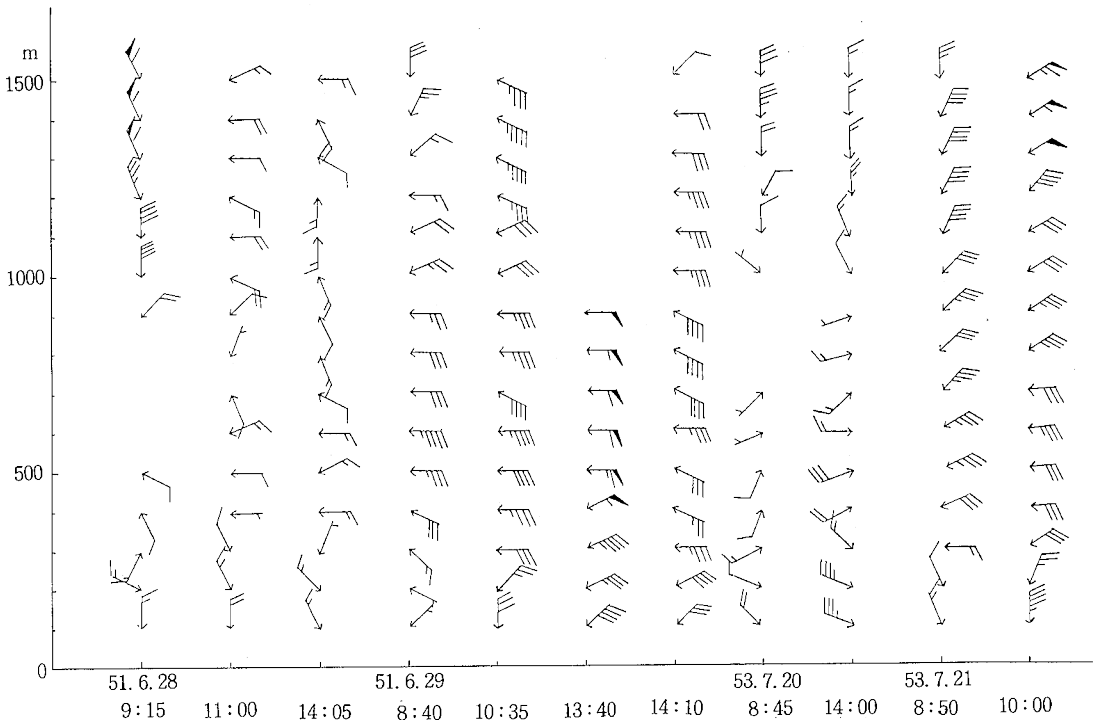


図7 風の鉛直分布

5. 海水温と気温

海陸風は海水表面温と地上気温との差がある時に温度の低い方から高い方へ吹くと言われているので、海水温と気温を比較して海陸風の交替の可能性を調べた。

海水温として屋島湾口の海面下1 mの海水温を、気温として、高松と多度津の気温を用いて比較した結果を図8-1と図8-2に示す。

1) 昭和51年 6月28日～29日

24時～6時にかけて放射冷却現象によって地上気温が海水温よりも低くなり、7時～8時で日射によって地上気温が上昇し、地上気温と海水温が逆転した。海陸風の交替が海水温と気温の結果と一致した。

2) 昭和53年 7月20日～21日

24時～6時にかけて放射冷却現象による地上気温の低下はあるが、海水温と地上気温の逆転は出現していない。

上述した海水温と気温の逆転の有無から、梅雨期の方が盛夏期よりも海陸風の交替が起り易い気象状態であったと思われる。

風の調解析の結果によると、中讃地域の方が高松地域よりも海陸風が強いが、昼間の海水温と地上気温の差はむしろ高松地域の方が大きく、風の結果と一致していない。このことは、地形的に高松地域の方が海風の侵入が抑えられ易いことを示していると思われる。

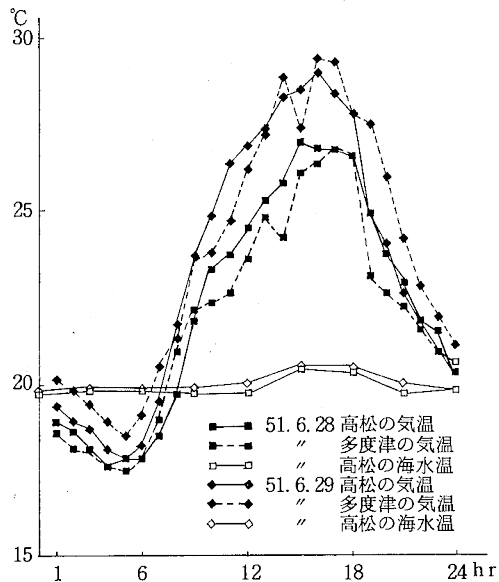


図8-1 海水温と気温（昭和51年6月28日～29日）

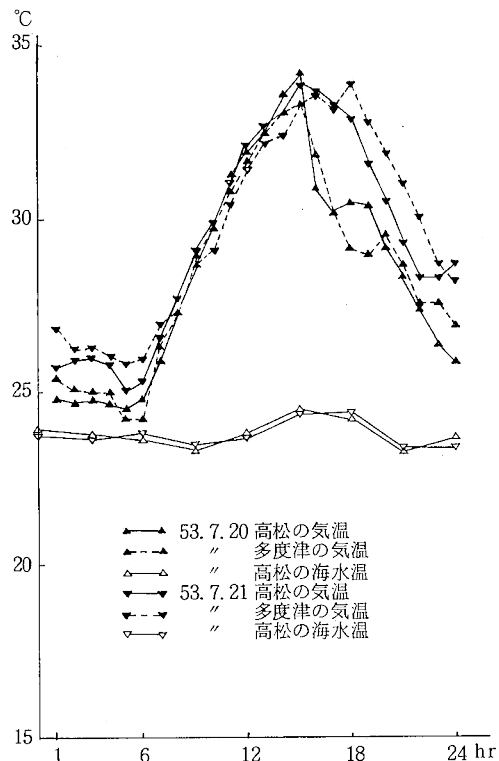


図8-2 海水温と気温（昭和53年7月20日～21日）

6. 汚染質の経時変化

調査期間中の汚染質の経時変化を図9-1～図9-4に示す。

今まで、海陸風の解析を行って来たが、これからその結果をもとに汚染質の経時変化を説明する。

1) 昭和51年6月28日

中讃，高松地域ともに陸風が1時～8時にかけて，海風が9時～21時にかけて，陸風が22時～24時にかけてそれぞれ吹いた。

中讃地域：NO₂は9時頃と19時頃にピークを持つ二山構造の上に海風最盛期に輸送されて来たと思われるピークが重なって変形した三山型のパターンを示していた。

また陸風の吹いている夜間においてもNO₂は一部が残存して汚染が停滞していた。

Oxは海風最盛期の14時にピークを持っているが，NO_xと反応して分解を起したためかピークが変形している。

高松地域：NO₂のパターンは中讃地域と同じく三山型を示しているが，中讃地域に比べると高松局と栗林局の二局はNO_xに占めるNOの割合が高く，NO_xに関しては近傍からの汚染を受けていると考えられる。

Oxは中讃地域に比べて低く，ピークもなだらかである。

2) 昭和51年6月29日

中讃，高松地域ともに陸風が1時～7時にかけて，海風が10時～14時にかけて，E方向の一般風が15時～24時にかけてそれぞれ吹いた。

中讃地域：NO₂は一般風の影響で15時以降，輸送されて9時頃のみにもピークを持つ一山型である。Oxも一般風の影響で15時以降，ゆるやかに減少しておりピークが変形している。

高松地域：競輪局のパターンは中讃地域のものとは大差ないが，高松局，栗林局についてはNO₂が二山構造をとっており，E方向の一般風の影響を受けにくい局である。

Oxについては，高松局と栗林局の2局はNO_xが高いにもかかわらず，パターンとしては3局とも同じである。

3) 昭和53年7月20日

中讃，高松地域ともに陸風が1時～6時にかけて，海風が7時～22時にかけて，陸風が23時～24時にかけてそれぞれ吹いた。

中讃地域：NO₂は9時頃と19時頃にピークを持つ二山構造であった。また，陸風の吹いている夜間においてもNO₂は一部が残存しており，

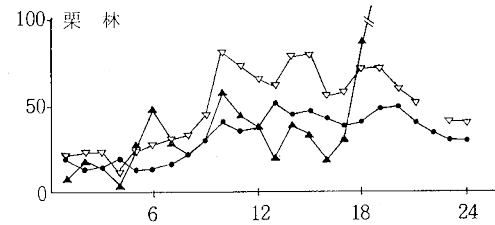
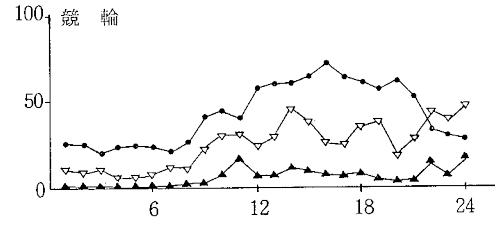
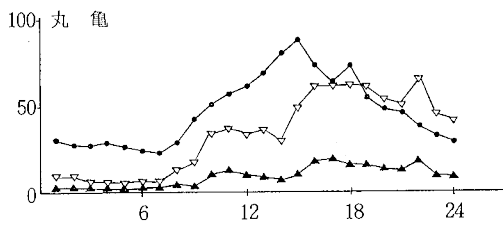
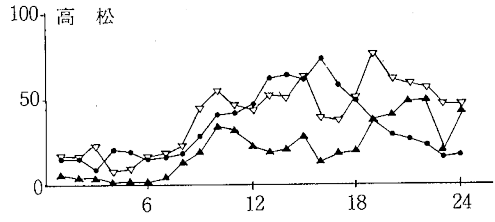
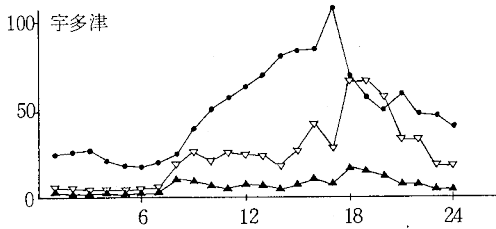
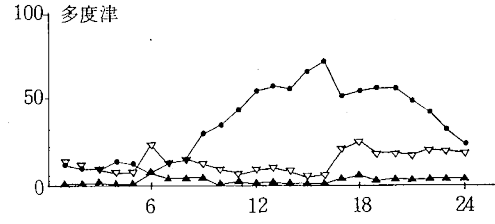
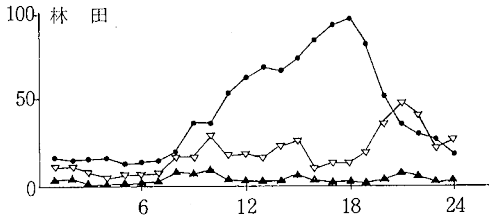
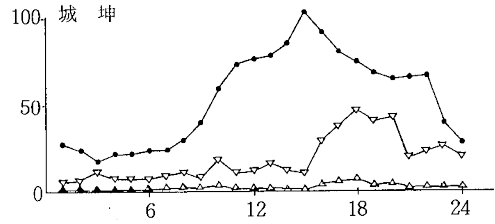
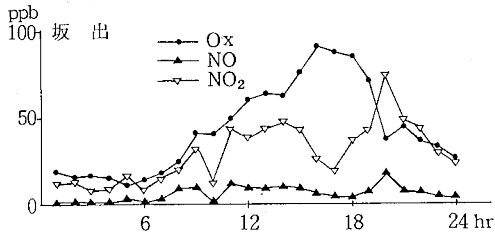


図 9-1 汚染質の経時変化 (昭和51年 6月28日)

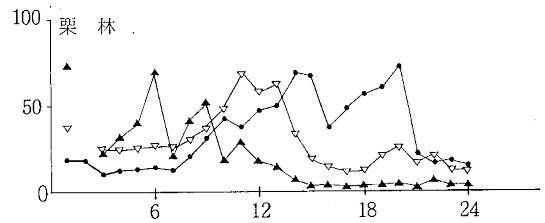
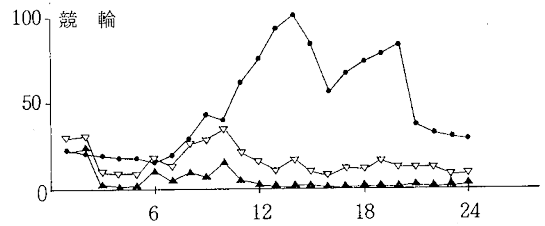
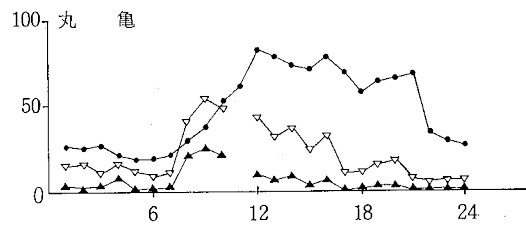
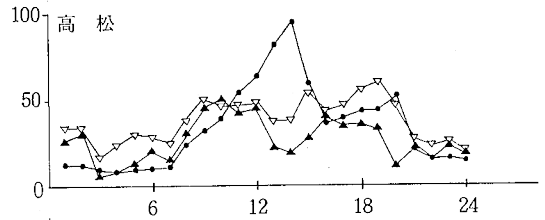
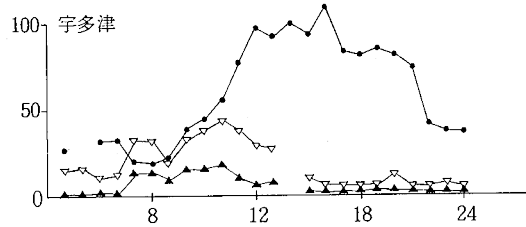
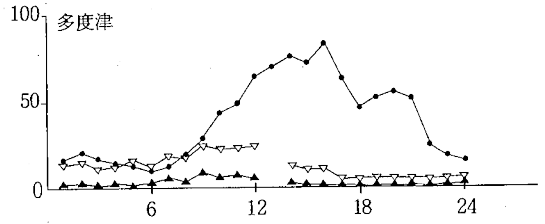
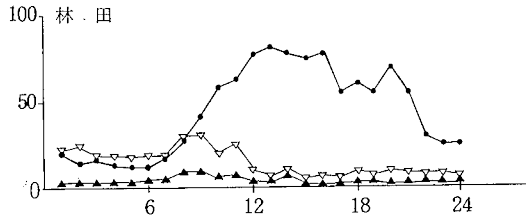
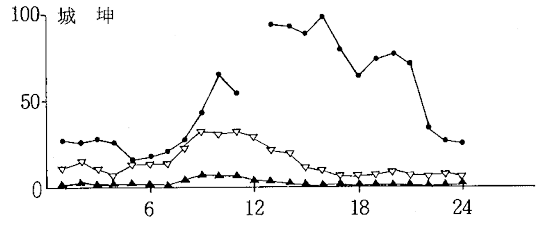
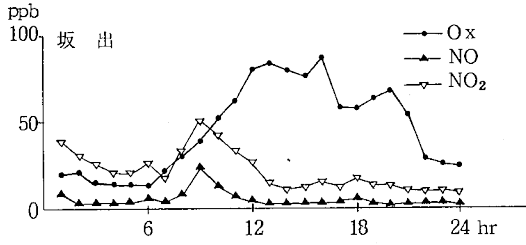


図9-2 汚染質の経時変化(昭和51年6月29日)

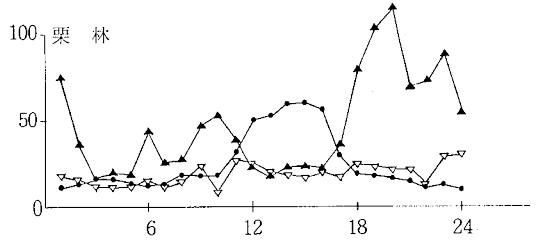
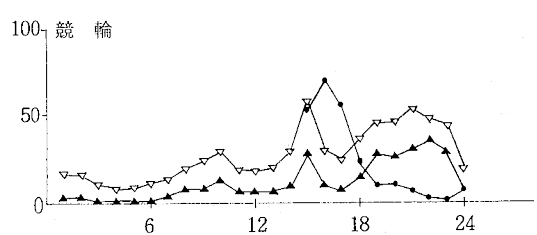
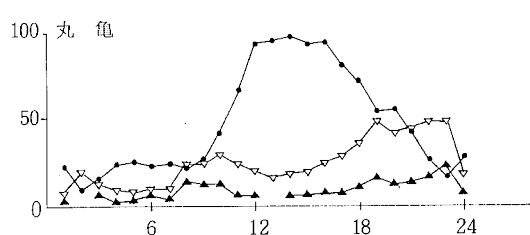
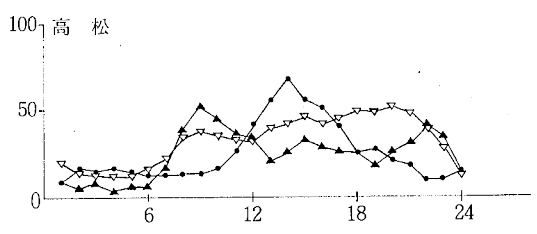
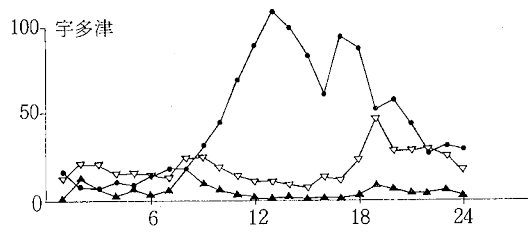
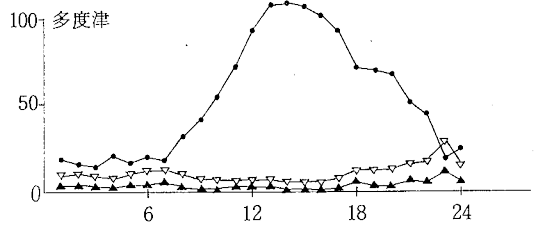
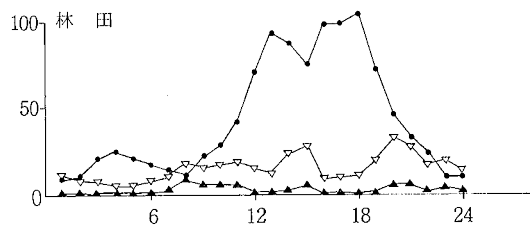
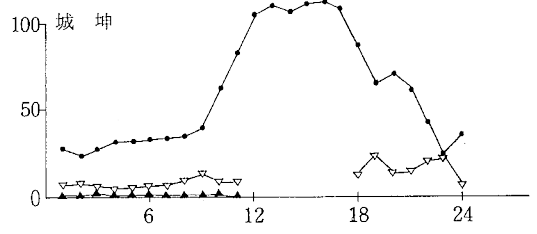
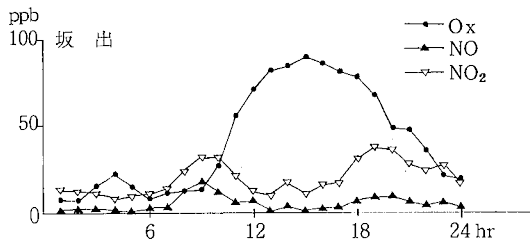


図9-3 汚染質の経時変化(昭和53年7月20日)

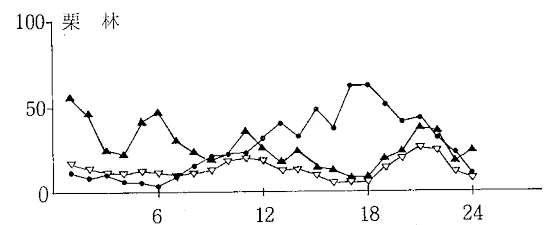
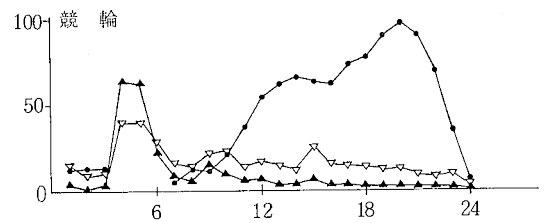
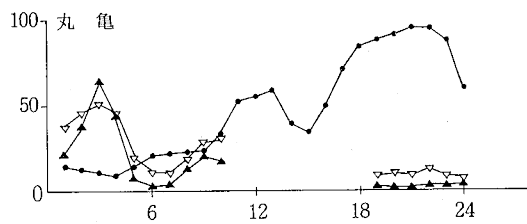
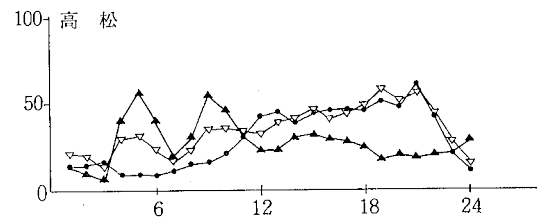
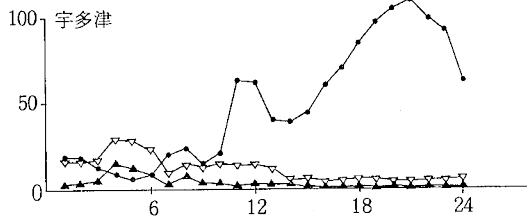
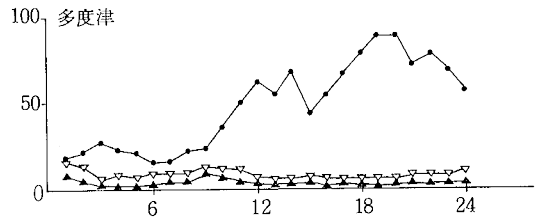
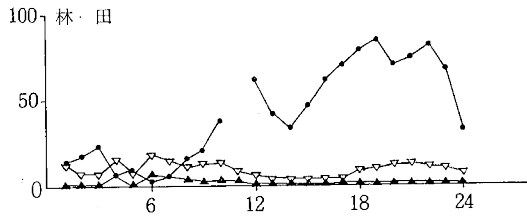
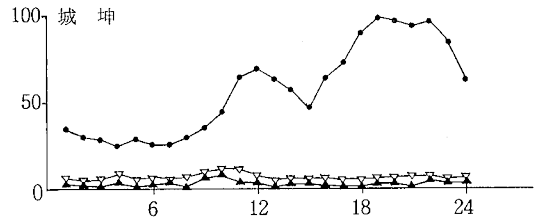
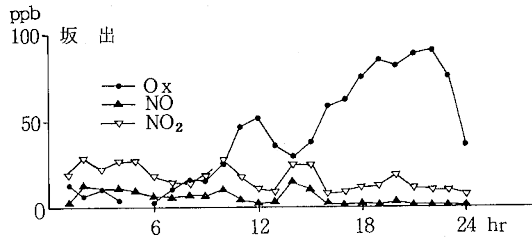


図9-4 汚染質の経時変化(昭和53年7月21日)

汚染質が停滞していたと思われる。

Ox は林田局と宇多津局の2局を除いて海風最盛期に対称性の良いピークを示している。これは昼間、NOxが低かったことによると思われる。

高松地域：NO₂は二山構造をとらず、全般的に高く、停滞している。栗林局のNOは高く、近傍の一次汚染質の影響を受けている。

Ox は中讃地域に比べて低くてピークも小さい。中讃地域に比べて海風による輸送量が少なかったことが推測される。

4) 昭和53年7月21日

中讃地域では陸風が1時～7時にかけて、海風が8時～15時にかけて、E方向の一般風が16時以降にそれぞれ吹いた。

高松地域では陸風が1時～7時にかけて、海風が9時～17時にかけて、E方向の一般風が18時以降にそれぞれ吹いた。

中讃地域：NO₂が一般風の影響で16時以降、拡散された。一方、OxはNOxの減少に伴って19時頃に日最大ピークを示し、夜間も停滞していた。

丸亀局では3時のNOxに占めるNOの割合が高く、近傍からの汚染が考えられる局であった。

高松地域：競輪局のパターンは5時のNOが高濃度を示す以外は中讃地域と大差ないが、高松局と栗林局の2局については、E方向の一般風が吹きはじめてからもNO₂が拡散されずに残っており、E方向の一般風の影響を受けにくい局である。

Oxは高松局と栗林局はNOxが高いにもかかわらず、パターンとしては3局とも同じである。

ま と め

瀬戸内地域の光化学オキシダント広域汚染日を4日選んで、瀬戸内地域と香川県地域について気象と汚染質の挙動について検討した。

これらの日は大気が安定して、気圧傾度力が小さく、海陸風の交替が見られた日であるが、瀬戸内地域全体から見ると、気象因子や汚染質について地域によってかなりの差があると言われている。

本調査の解析結果をまとめると次のとおりである。

1) 瀬戸内地域全体から光化学オキシダント汚染日の風の調和解析結果を見ると、地域によってかなりの差があった。

広域汚染日においても瀬戸内地域を統一的に記述することはできず、地域によって汚染の質が異なることが推測された。

2) 海陸風の交替に関しては中讃、高松地域とも時刻が一致する等、全体的なパターンは一致した。

中讃地域に比べて高松地域の高松局、栗林局はE方向の一般風の影響を受けにくい局である。

3) 光化学オキシダントの経時変化は中讃、高松地域ともほぼ同じパターンであるが、高松地域の高松局と栗林局については建築物等により、海風の侵入が抑えられて輸送されて来る光化学オキシダントが少ない上に近傍からの窒素酸化物により、光化学オキシダントのピークが変形されている局である。

文 献

- 1) 環境庁大気保全局：瀬戸内地域における光化学大気汚染関係資料，，（1982）
- 2) 環境庁大気保全局：大気汚染防止法に基づくオキシダントに係る緊急時の措置を執るべき場合のオキシダント濃度の変更等について，，（1977）
- 3) 環境庁大気保全局：二酸化窒素の測定方法の変更に伴う措置等について，，（1978）
- 4) 正野重方：気象学総論P160，（1976），（地人書館）