

## 6) 阿蘇地域における光化学オキシダント濃度調査

村岡 俊彦 林 英明 北岡 宏道

### 要 旨

光化学スモッグ発令地域における発令局との光化学オキシダント(以下「O<sub>x</sub>」という)濃度類似性の検証を目的として、南阿蘇村白水(以下「白水」という)及び高森町上色見(以下「高森」という)において、大気環境測定車によりO<sub>x</sub>の調査を行った。調査結果によれば、白水及び高森は、相関性、O<sub>x</sub>日最大濃度到達時間、濃度レベル共に現行発令局である益城町役場局よりも、阿蘇保健所局の方に明確な類似性が見られた。このことから、両地域が属する南阿蘇地域の発令局としては、阿蘇保健所局が適切であると判断された。

### キーワード：光化学オキシダント，光化学スモッグ注意報発令地域，南阿蘇

#### はじめに

平成18年6月には熊本県観測史上初の光化学スモッグ注意報が発令され、平成19年には計7回(4日間計7地域)など、最近、本県においても高濃度の光化学オキシダント(以下「O<sub>x</sub>」という)が観測されるようになり、社会問題となっている。この様な背景の下、これまで、光化学スモッグ注意報等の発令地域は、大気汚染常時監視局が所在する市町村域が対象であったが、平成20年2月に熊本県環境審議会で策定された「光化学スモッグ緊急時対策基本方針」に基づき、平成20年4月に県下全域に発令対象地域(12地域区分)が拡大された。さらに、平成21年6月に、新たに阿蘇保健所局等の大気汚染常時監視局が4局増設されたことに伴い、発令対象地域が16地域区分となった。

南阿蘇村及び高森町は、標高1000m前後の阿蘇外輪山に囲まれた東西約18km、南北約25kmの広大なカルデラの中にあり、カルデラの中央付近に位置する高岳(標高1592m)等阿蘇五岳の南側に位置する。

このため、これら山岳の影響で北側の地域とは大気汚染物質の流入等の挙動が異なることが予想されたこ

とから、その発令地域区分は「南阿蘇地域」に属しているが、その発令局は益城町役場局とされており、発令局から離れた地域となっている。そこで、平成22年度から、環境保全課の依頼により、南阿蘇村及び高森町において、O<sub>x</sub>濃度が高濃度となる春季に、大気環境測定車(以下「測定車」という)によるO<sub>x</sub>濃度調査を行い、発令局(益城町役場局)とのO<sub>x</sub>濃度類似性の検証を行ったので報告する。

#### 調査方法

##### 1 南阿蘇村調査

平成22年5月1日～6月17日、平成23年4月20日～6月30日の期間にかけて、図1に示す標高464mの南阿蘇村大字吉田1700-1「南阿蘇村白水体育館」(以下「白水」という)に測定車みどり世号を設置し、光化学オキシダント(O<sub>x</sub>)、窒素酸化物(NO、NO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>)及び風向・風速を測定した。なお、O<sub>x</sub>、NO-NO<sub>2</sub>-NO<sub>x</sub>計は湿式である。

##### 2 高森町調査



図1 調査地点

標高 671m の高森町大字上色見 1388「高森町上色見総合センター」(以下「高森」という)に測定車みどり世号を設置し、光化学オキシダント(Ox)、窒素酸化物(NO、NO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>)、及び風向・風速を測定した。なお、Ox、NO-NO<sub>2</sub>-NO<sub>x</sub>計は乾式である。

### 3 後方流跡線解析、気象データ

大気汚染物質の移流経路を求める解析手法として国立環境研究所地球環境研究センターのMETEX<sup>1)</sup>のデータを用い、阿蘇外輪山(東経 131 度、北緯 33 度)を起点とした後方流跡線(起点高度 1500m、遡及時間 72 時間)を作成した。また、阿蘇山測候所の風向風速データを気象庁ホームページより入手し、解析に利用した。なお、風向風速ベクトルの作成は早狩氏作成の解析ソフトを使用した<sup>2)</sup>。

### 結果及び考察

#### 1 発令局との類似性の検証

Ox に関する発令局との類似性を検証する場合、最も重要となるのは、光化学スモッグ注意報等発令に至る様な高濃度 Ox となった際の Ox 濃度及びその時刻について、発令局と対象地域間でどの程度の類似性があるかどうかを検証することである。

そこで、白水・高森において日最大 Ox 濃度が 80ppb 以上となった日について、次の検証を行った。

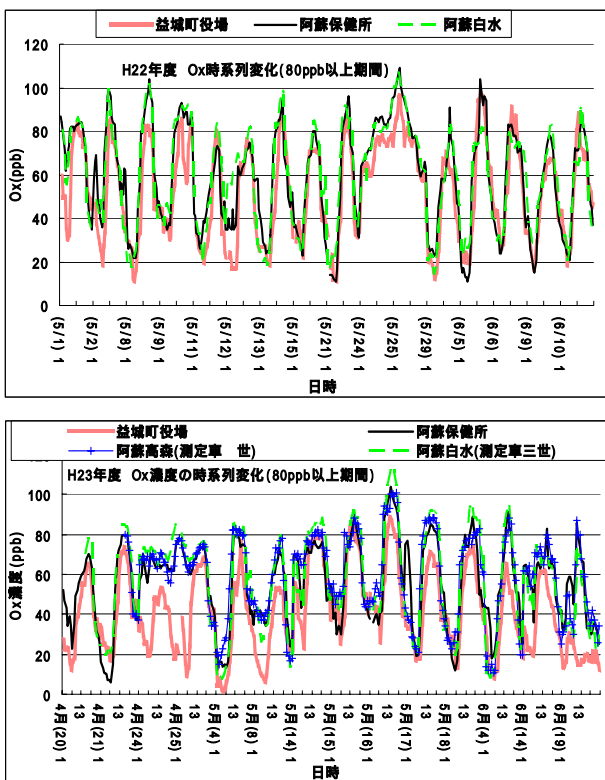


図2 平成 22 年度(上)、平成 23 年度(下)調査の高濃度期間における Ox 時系列変化

平成 23 年 4 月 21 日 ~ 6 月 30 日にかけて、図 1 に示す

- ・Ox 濃度挙動の類似性については、Ox 濃度相関係数にて検証
- ・高濃度 Ox となる時刻について、日最大濃度に到達した時刻の差にて検証
- ・高濃度時の Ox 濃度レベルについて、日最大濃度の差(Ox 濃度に対する濃度差の割合として評価)にて検証

(1) Ox 濃度挙動の類似性の検証

白水・高森の Ox 日最大値が 80ppb 以上となった期間の Ox 時系列変化グラフを示す(図2)。益城町役場局は白水・高森・阿蘇保健所局よりも Ox 濃度が低いレベルを推移する傾向にあること、並びにその変動パターンも幾分異なっていることが分かる。

白水・高森 Ox の各常時監視局との相関係数を表1、2に示した。相関係数は、白水・高森共に全調査期間及び最大値が 80ppb 以上となった期間のいずれにおいても、阿蘇保健所局 > 益城町役場局の順番であり、阿蘇保健所と高い相関を示した。

(2) 高濃度 Ox となる時刻の検証

白水・高森の Ox 日最大値が 80ppb 以上となった日

表1 平成22年度調査における白水と各常時監視局 Ox 濃度の相関係数

南阿蘇村白水(測定車 世号)			
全測定期間		白水Ox日最大>80ppbの測定日	
局	相関係数	局	相関係数
阿蘇保健所	0.8990	阿蘇保健所	0.9330
大津町引水	0.8309	益城町役場	0.8781
小田浦公民館	0.8247	上天草合津	0.8751
益城町役場	0.8218	楡木	0.8699
楡木	0.8153	小田浦公民館	0.8698
錦ヶ丘	0.8131	錦ヶ丘	0.8665
上天草合津	0.8131	宇土運動公園	0.8552
甲佐町岩下	0.8111	河浦	0.8546
水俣保健所	0.8047	八代市役所	0.8546
京町	0.8015	甲佐町岩下	0.8534
古町	0.7986	菊池市役所	0.8518
菊池市役所	0.7953	山鹿健康センタ	0.8509
山鹿健康センタ	0.7883	大津町引水	0.8458
宇土運動公園	0.7874	天明	0.8453
河浦	0.7871	天草保健所	0.8426
天草保健所	0.7835	古町	0.8406
天明	0.7800	京町	0.8340
八代市役所	0.7686	苓北木場	0.8322
苓北志岐	0.7671	水俣保健所	0.8303
苓北木場	0.7665	有明保健所	0.8150
有明保健所	0.7650	苓北志岐	0.8033
人吉保健所	0.7316	荒尾市役所	0.7343
荒尾市役所	0.6876	人吉保健所	0.7316

について、白水・高森の Ox 日最大となった時刻(日最大到達時刻)と各測定局の日最大到達時刻の差[白水(高森)日最大到達時刻 - 各局日最大到達時刻]の絶対

表2 平成23年度調査における白水・高森と各常時監視局 Ox 濃度の相関係数

阿蘇高森(測定車 世号)				阿蘇白水(測定車 世号)			
全測定期間		Ox日最大>80ppbの測定日		全測定期間		Ox日最大>80ppbの測定日	
阿蘇白水測定車 世	0.9441	阿蘇白水測定車 世	0.9333	阿蘇高森(測定車 世)	0.9441	阿蘇高森(測定車 世)	0.9333
阿蘇保健所	0.8964	阿蘇保健所	0.8829	阿蘇保健所	0.9228	阿蘇保健所	0.9145
宇土運動公園	0.7649	大津町引水	0.8195	大津町引水	0.8665	大津町引水	0.8456
益城町役場	0.7717	上天草合津	0.7718	楡木	0.8305	宇土運動公園	0.8272
河浦	0.7544	甲佐町岩下	0.7663	小田浦公民館	0.8277	上天草合津	0.8188
菊池市役所	0.7936	宇土運動公園	0.7562	菊池市役所	0.8274	天明	0.8167
京町	0.7612	苓北木場	0.7457	錦ヶ丘	0.8249	楡木	0.8166
錦ヶ丘	0.7802	天明	0.7441	益城町役場	0.8248	甲佐町岩下	0.8081
古町	0.7809	益城町役場	0.7437	甲佐町岩下	0.8214	益城町役場	0.7974
甲佐町岩下	0.7848	楡木	0.7396	水俣保健所	0.8200	錦ヶ丘	0.7973
荒尾市役所	0.7367	小田浦公民館	0.7355	古町	0.8199	小田浦公民館	0.7966
山鹿健康センター	0.7452	菊池市役所	0.7221	天明	0.8183	京町	0.7801
小田浦公民館	0.8056	錦ヶ丘	0.7197	京町	0.8117	天草保健所	0.7792
上天草合津	0.8003	苓北志岐	0.7193	苓北木場	0.8108	菊池市役所	0.7717
人吉保健所	0.7396	天草保健所	0.7155	上天草合津	0.8079	古町	0.7695
水俣保健所	0.8060	河浦	0.7028	苓北志岐	0.8048	人吉保健所	0.7638
大津町引水	0.8154	水俣保健所	0.6974	天草保健所	0.8000	河浦	0.7593
天草保健所	0.7969	人吉保健所	0.6932	宇土運動公園	0.7978	苓北木場	0.7587
天明	0.7894	古町	0.6879	山鹿健康センター	0.7860	有明保健所	0.7491
八代市役所	0.7588	京町	0.6810	河浦	0.7817	苓北志岐	0.7376
有明保健所	0.7374	有明保健所	0.6775	有明保健所	0.7779	水俣保健所	0.7318
苓北志岐	0.8140	山鹿健康センター	0.6673	八代市役所	0.7770	山鹿健康センター	0.7312
苓北木場	0.8090	八代市役所	0.6575	人吉保健所	0.7749	八代市役所	0.7024
楡木	0.7758	荒尾市役所	0.5976	荒尾市役所	0.7603	荒尾市役所	0.6885

阿蘇高森・白水いずれかでOx日最大>80ppbの測定日

表3 平成22年度(左)、平成23年度(右)調査における白水・高森と各常時監視局の  
Ox日最大到達時刻差平均 (単位: hr)

南阿蘇村白水(測定車 世号)		阿蘇高森(測定車 世号)		阿蘇白水(測定車 世号)	
局	Ox日最大濃度到達時刻差平均	局	Ox日最大濃度到達時刻差平均	局	Ox日最大濃度到達時刻差平均
阿蘇保健所	0.9	阿蘇保健所	1.2	阿蘇保健所	1.3
上天草合津	2.1	阿蘇白水(測定車三世)	1.7	阿蘇高森(測定車 世)	1.7
甲佐町岩下	2.2	苓北木場	2.7	苓北木場	2.5
宇土運動公園	2.3	苓北志岐	3.4	人吉保健所	3.1
天草保健所	2.4	人吉保健所	3.7	苓北志岐	3.1
天明	2.6	天草保健所	3.8	天草保健所	3.2
苓北木場	2.6	古町	3.8	天明	3.3
荒尾市役所	2.6	天明	3.8	河浦	3.4
小田浦公民館	2.6	宇土運動公園	3.9	宇土運動公園	3.5
大津町引水	2.6	大津町引水	3.9	水俣保健所	3.6
山鹿健康センター	2.7	荒尾市役所	4.0	古町	3.7
八代市役所	2.7	水俣保健所	4.0	小田浦公民館	3.8
河浦	2.8	有明保健所	4.1	甲佐町岩下	3.8
苓北志岐	2.8	菊池市役所	4.1	荒尾市役所	3.8
有明保健所	2.9	河浦	4.1	京町	3.8
益城町役場	3.0	山鹿健康センター	4.2	有明保健所	3.9
菊池市役所	3.1	小田浦公民館	4.2	菊池市役所	3.9
檜木	3.1	上天草合津	4.3	大津町引水	3.9
京町	3.2	益城町役場	4.3	檜木	4.0
水俣保健所	3.3	八代市役所	4.5	上天草合津	4.0
錦ヶ丘	3.4	甲佐町岩下	4.5	錦ヶ丘	4.1
古町	3.6	錦ヶ丘	4.6	益城町役場	4.1
人吉保健所	3.6	檜木	4.7	八代市役所	4.1
		京町	4.8	山鹿健康センター	4.3

表4 平成22年度(左)、平成23年度(右)調査における白水・高森と各常時監視局のOx日最大濃度差の割合

日最大値差の割合の平均値(%)	日最大値差の割合の平均値(%)				
	阿蘇高森(測定車 世号)		阿蘇白水(測定車 世号)		
南阿蘇村白水					
阿蘇保健所	5.8	阿蘇保健所	3.3	阿蘇高森(測定車 世)	8.6
菊池市役所	6.1	菊池市役所	9.0	阿蘇保健所	9.2
大津町引水	6.6	京町	9.3	菊池市役所	11.2
天草保健所	7.1	阿蘇白水(測定車三世)	9.3	天草保健所	12.9
苓北志岐	7.7	錦ヶ丘	9.8	京町	13.0
檜木	7.9	天草保健所	10.3	古町	14.6
小田浦公民館	8.8	大津町引水	11.4	苓北志岐	15.1
水俣保健所	9.9	古町	11.6	錦ヶ丘	15.1
上天草合津	10.1	檜木	12.3	大津町引水	15.5
甲佐町岩下	10.2	甲佐町岩下	13.5	有明保健所	15.7
有明保健所	11.5	上天草合津	13.5	上天草合津	16.1
八代市役所	12.3	苓北木場	15.2	檜木	16.9
益城町役場	12.3	水俣保健所	15.4	水俣保健所	17.2
苓北木場	12.4	小田浦公民館	15.9	甲佐町岩下	17.8
河浦	14.2	宇土運動公園	16.0	人吉保健所	18.1
山鹿健康センター	15.0	苓北志岐	17.2	小田浦公民館	18.1
古町	15.3	天明	17.6	苓北木場	18.6
京町	15.3	荒尾市役所	18.5	宇土運動公園	21.0
宇土運動公園	15.5	有明保健所	19.2	荒尾市役所	21.5
天明	15.6	河浦	21.1	天明	22.4
錦ヶ丘	16.0	山鹿健康センター	23.3	益城町役場	24.6
荒尾市役所	18.3	益城町役場	26.4	河浦	24.8
人吉保健所	26.7	人吉保健所	35.3	山鹿健康センター	33.3
		八代市役所	36.2	八代市役所	34.8

高森・白水のOx日最大値が80ppb以上となった日について、高森・白水のOx日最大濃度に対する各測定局の日最大濃度差の割合  

$$\left[ \frac{\text{高森(白水)Ox日最大濃度} - \text{各局日最大濃度}}{\text{高森(白水)Ox}} \right]$$
の絶対値を算出し、対象日を通しての平均を求め、高森・白水それぞれのOx日最大濃度からの各局のズレの程度を評価した。

値を算出し、対象日を通しての平均を求め、白水・高森それぞれの Ox 日最大到達時刻からの各局の差の程度を評価した(表 3)。この結果、Ox 日最大値到達時刻について、白水・高森との差が最も小さい測定局は阿蘇保健所局(0.9~1.3 時間の差)であり、一方現行発令局である益城町役場局との差は 3~4.3 時間であった。

### (3) 高濃度時の Ox 濃度レベルの検証

白水・高森の Ox 日最大値が 80ppb 以上となった日について、白水・高森の Ox 日最大濃度に対する各測定局との日最大濃度差の割合 [(白水(高森)Ox 日最大濃度 - 各局日最大濃度) / 白水(高森)Ox 日最大濃度] の絶対値を算出し、対象日を通しての平均を求め、白水・高森それぞれの Ox 日最大濃度からの各局の差の程度を評価した(表 4)。この結果、Ox 日最大濃度について白水・高森との差が最も小さい測定局は阿蘇保健所局であり、3.3~9.2%の差であった。

一方、現行発令局である益城町役場局との差は、12.3~26.4%であった。

### (4) 発令局との類似性検証の結果

白水・高森は、現行発令局である益城町役場局よりも、阿蘇保健所局の方に、相関性、Ox 日最大濃度到達時間、濃度レベル共に明確な類似性が見られた。益城町役場局は、最大濃度到達時刻が白水・高森よりも平均 3~4.3 時間ずれ、最大濃度も平均 12.3~26.4%ずれていた。これらのことから、白水・高森を含む南阿蘇地域の発令局としては、阿蘇保健所局が適切であると判断された。

## 2 南阿蘇地域と益城局の Ox 濃度挙動の相違に関する解析

白水・高森の Ox 濃度挙動が、益城町役場局よりも阿蘇保健所局に類似する要因について解析した結果、以下の知見が得られた。

### (1) NO による Ox 自己消費

Ox の 9 割は O<sub>3</sub>とされているが、O<sub>3</sub>は、NOが存在すると O<sub>3</sub>+NO → NO<sub>2</sub>+NO<sub>2</sub> の反応により自己消費される。南阿蘇地域と益城町役場局を比較すると、熊本市近郊である益城町役場局は自動車等による NO 排出量が南阿蘇地域よりも多いことから、上記により Ox が自己消費されている可能性がある。

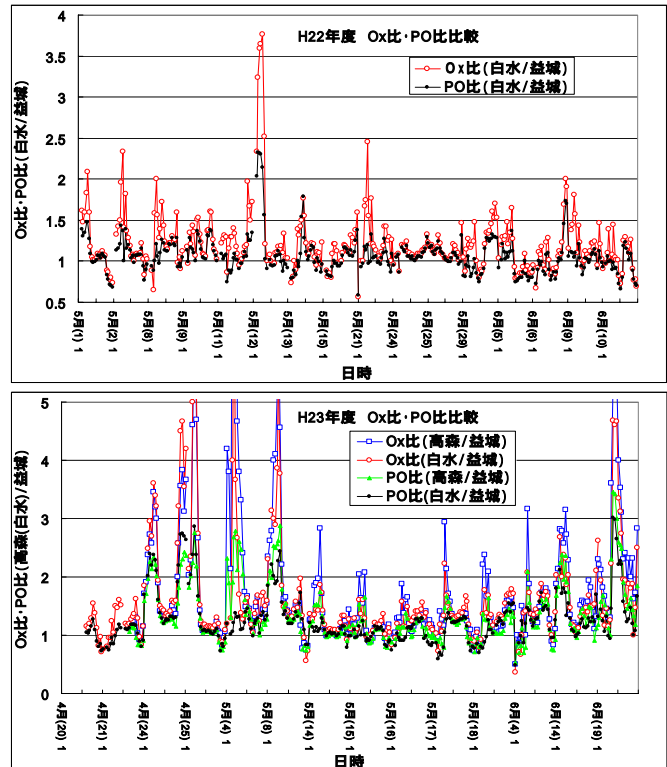


図3 平成 22 年度(上) 平成 23 年度(下)調査の高濃度期間での白水・高森と益城局の Ox 比・PO 比の時系列変化

そこで、この影響を検討するため、NOにより消費された O<sub>3</sub>量まで含めた保存量であるポテンシャルオゾン(以下「PO」という)を次式により求め、評価を行った<sup>3)</sup>。

$$PO = Ox + NO_2 - 0.1 \times NOx$$

白水・高森の Ox 日最大値が 80ppb 以上となった期間の白水(高森)と益城町役場局との Ox 比[白水(高森)Ox/益城町役場局 Ox]、PO 比[白水(高森)PO/益城町役場局 PO]時系列変化グラフを示した(図 3)。Ox 比と比較すると、明らかに PO 比は Ox 比より小さくなる傾向があることから、PO で見ると、益城町役場局と白水・高森との濃度差が幾分か小さくなるのが分かる。

このことから、熊本市近郊にある益城町役場局は、NO による Ox 自己消費が多いため、Ox 濃度が低くなる傾向にあることが、白水及び高森の両地域との Ox 濃度差の一因と考えられた。

### (2) 夜間の Ox 濃度挙動(標高による影響)

夜間の高濃度事例を示した図 4 から、白水、高森及び阿蘇 HC の阿蘇地域にて、地理的に離れた苓北志岐局と類似した夜間の Ox 濃度挙動が見られることが分

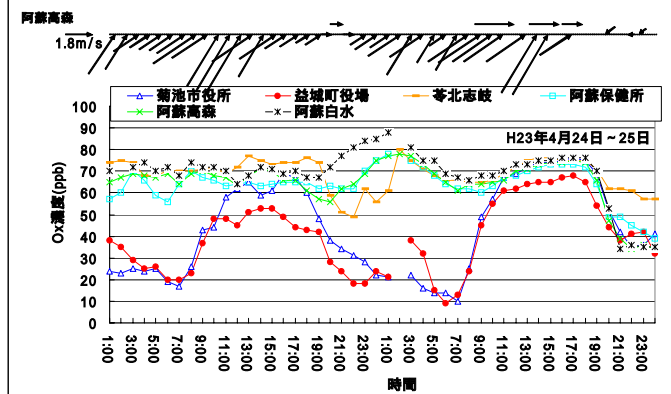
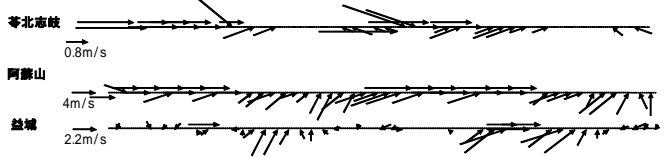
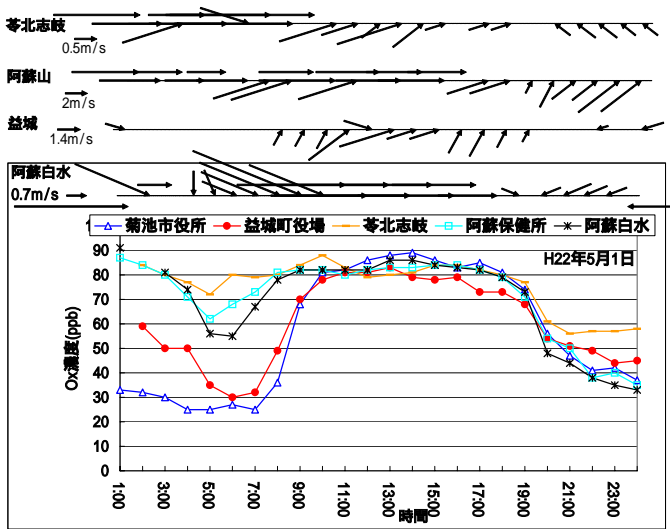


図4 平成22年度5月(上段)、平成23年度4月(中段)、平成23年度5月(下段)調査におけるOx夜間・早朝高濃度事例

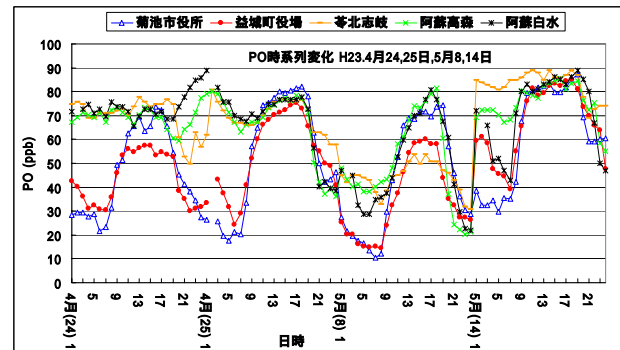
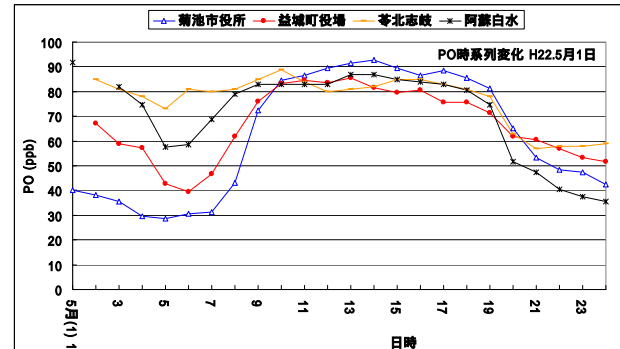


図5 平成22年度(上段)、平成23年度(下段)調査における夜間・早朝高濃度時のPO挙動

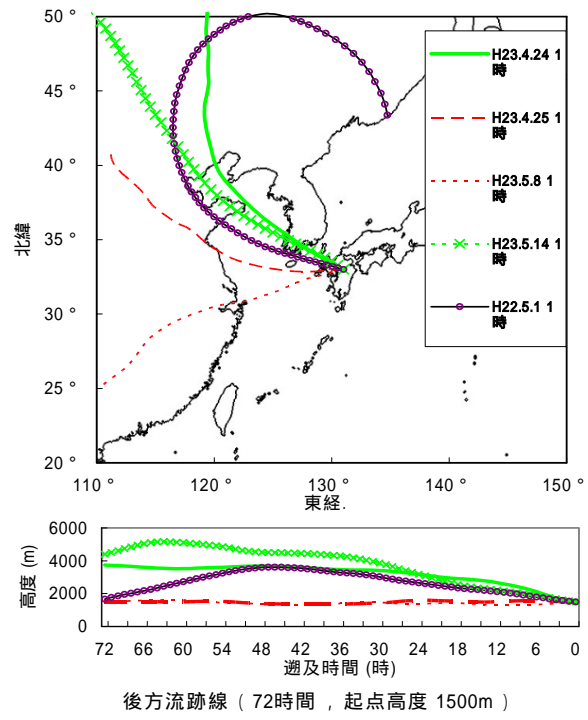


図6 各高濃度日における後方流跡線

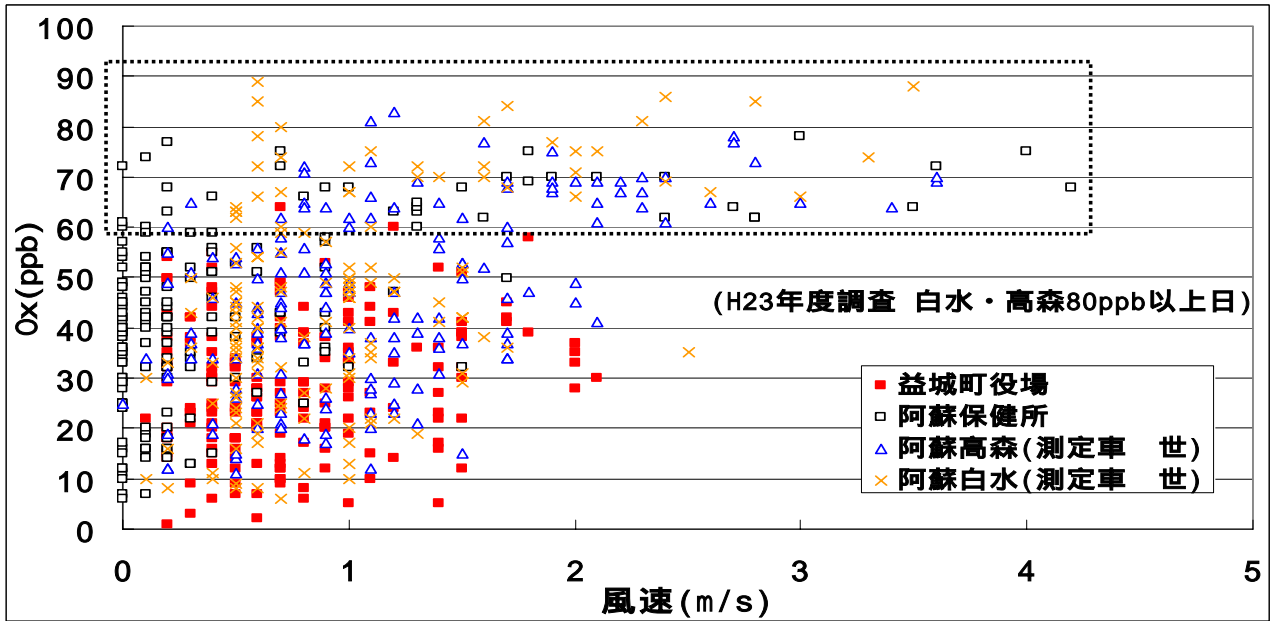


図7 平成23年度高濃度日における風速とOx濃度

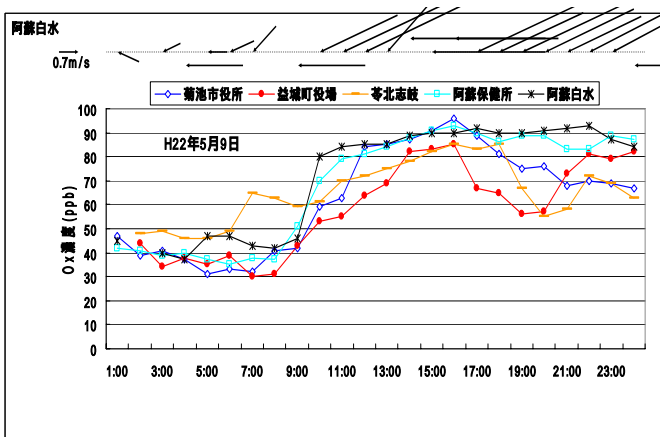


図8 平成22年度調査における東寄りの風の際の高濃度事例(5月9日)

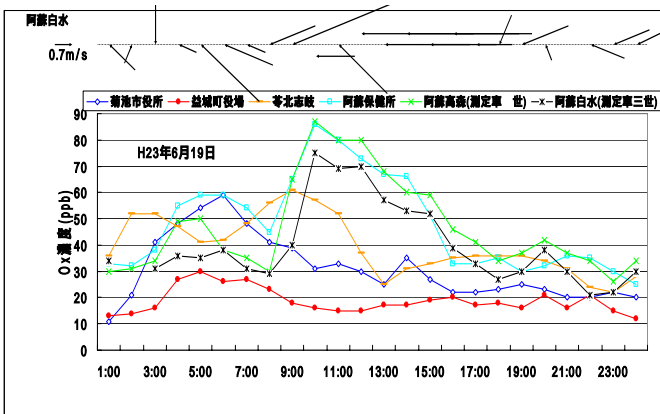


図9 平成23年度調査における東寄りの風の際の高濃度事例(6月19日)

かる。この期間のPO濃度の時系列変化(図5)にも同様の挙動が見られることから、この阿蘇地域における夜間高濃度Ox挙動は、先に述べたNOによるOx自己消費以外の要因であると考えられる。

図6に示した各高濃度日の午前1時における後方流跡線は、これらの期間に大陸からの気塊が流入していたことを示している。

夜間高濃度となった時間帯の風向ベクトルから(図4)、阿蘇地域の地点の挙動は、益城町役場局と全く異っており、標高1142mの阿蘇山測候所と同様のパターンを示していることから、同時帯の阿蘇地域では上層の一般風の影響を強く受けていたものと考えられる。

苓北志岐は夜間に高濃度となることが多いが、これは天草西海岸に位置するため、越境移流による気塊が流入しやすいためと考えられる。阿蘇地域においても同様の挙動が見られたのは、大陸から移流した高濃度Oxを含む一般風が、沿岸から地表を通過する際に、より高い高度で通過したため、標高の高い阿蘇地域で他地域よりもその影響を受けやすくなり、Ox濃度が高くなったものと推測された。

また、白水・高森のOx日最大値が80ppb以上となった高濃度日における午後8時~午前8時の夜間・早朝の時間帯における風速とOx濃度の散布図を見ると(図7)、阿蘇地域では益城町には見られない比較的強い風速が観測されており、この風速時のOx濃度が60ppb以上を示していた。

このことから、標高の高い阿蘇地域では、夜間・早朝に、越境移流等による高濃度Oxを含む一般風の

影響を受け、風速が通常のこの時間帯と比較して強くなった際に O<sub>x</sub> 濃度が高くなる傾向にあることが分かる。

このような標高によるものと推測される夜間の O<sub>x</sub> 濃度挙動も白水及び高森の両地域と益城町役場局の O<sub>x</sub> 濃度挙動の差の一因と推測された。

### (3) 東寄りの風の際の O<sub>x</sub> 濃度挙動

図 8.9 に示すように、白水、高森及び阿蘇 HC の阿蘇地域は、東寄りの風が卓越する気象状況の際に、他地域よりも O<sub>x</sub> 濃度が高濃度となる事例が平成 22,23 年度のいずれにおいても見られた。この要因として、東方向から気塊が流入した際に、阿蘇地域は、地理的（位置、標高）にその影響を受けやすい可能性が考えられた。

#### まとめ

大気常時監視局から離れた地域である南阿蘇地域の南阿蘇村白水及び高森町上色見において、南阿蘇地域が属する光化学スモッグ発令地域における発令局（益城町役場局）との O<sub>x</sub> 濃度類似性の検証を目的として、大気測定車により、光化学 O<sub>x</sub> の調査を行った。

1 白水・高森は、現行発令局である益城町役場局よりも、阿蘇保健所局の方に、相関性、O<sub>x</sub> 日最大濃度到達時間、濃度レベル共に明確な類似性が見られた。このことから、南阿蘇地域の発令局としては、阿蘇保健所局が適切である。

2 白水・高森が、益城町役場局よりも阿蘇保健所局に類似する理由の一つとして、熊本市近郊にある益城町役場局は、自動車等による NO 排出量が白水及び高森の両地域よりも多いことから、NO による O<sub>x</sub> 自己消費が多いため、O<sub>x</sub> 濃度が低くなる傾向にあることが考えられた。

3 2 の理由に加えて、阿蘇地域においては、次の 2 点の地理的要因、標高が比較的高い（標高約 500m）こと、県内の他地域と比較して東寄りの風が吹く気象状況の際に他地域より高濃度となる事例が発生することがあることが O<sub>x</sub> 挙動の特徴を形成している可能性が推察された。

なお、今回の調査・解析結果を基に、平成 24 年度より、南阿蘇村及び高森町の光化学スモッグ注意報等発令対象地域の区分は、阿蘇地域に編入され、その発令局は阿蘇保健所となった。

#### 文献

1) METEX ( Meteorological Data Explorer) : 国立環境研究所地球環境研究センター

2) 早狩進：気象解析アドイン

( <http://www.jomon.ne.jp/~hayakari/> )

3) 大原利真編：光化学オキシダントと粒子状物質等の汚染特性解明に関する研究-国立環境研究所と地方環境研究所との C 型共同研究最終報告(平成 19～21 年度)，国立環境研究所研究報告第 203 号，p.159(2010)。