

### 3) 光化学オキシダント高濃度時における地上風の挙動

(2010年度事例より)

村岡 俊彦 工藤 聖\* 上野 一憲 北岡 宏道

#### 要旨

大気汚染物質の大陸越境移流時における県内光化学オキシダント(以下「O<sub>x</sub>」)濃度の地域差の要因を明らかにすることを目的として、2010年5月8日及び25日に観測された広域的O<sub>x</sub>高濃度事例を、地上風の挙動に着目し解析した。8日は、局地風が卓越する気象状況であったが、地域生成の影響が小さいため、日中の鉛直混合が地上O<sub>x</sub>濃度の上昇の要因と推測された。一方、25日は、一般風が地上で卓越する気象状況であったことから、高濃度O<sub>x</sub>を含む気流が夜間に地上を通過し、O<sub>x</sub>が高濃度となったと考えられた。

#### キーワード：光化学オキシダント，夜間高濃度，地上風，鉛直混合

##### はじめに

2006年6月に熊本県観測史上初の光化学スモッグ注意報が発令される等、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>」)が観測されるようになり、社会問題となっている。

O<sub>x</sub>濃度の上昇要因として、九州地域においては、大陸からの汚染物質の移流の影響が大きい事が、硫酸イオン濃度・後方流跡線による解析及びシュミレーション結果から指摘されている<sup>1,2)</sup>。

しかし、大陸移流の影響が大きい場合でも、県内のO<sub>x</sub>濃度にかかなりの地域差が認められる事例がある。

これら地域差の要因を明らかにすることは、光化学スモッグ注意報等発令地域の検証・見直し等、本県環境行政上のO<sub>x</sub>対策にとって重要である。

そこで、本研究では、O<sub>x</sub>濃度に地域差を生じさせる因子の一つである地上風の挙動に着目し、2010年5

月8日及び25日の2つのO<sub>x</sub>高濃度事例について解析を行ったので報告する。

##### 調査方法

###### 1 O<sub>x</sub>濃度及び風向風速

解析には、熊本県内の大気汚染常時監視局によるO<sub>x</sub>濃度及び風向風速データ等の常時監視データを使用した。また、比較のため長崎県離島(対馬、五島、壱岐)の常時監視データを国立環境研究所が運営する型共同研究メンバーサイトより入手した。なお、常時監視局データは確定値でない。解析に使用した監視局の位置を図1に示す。また、図中の八代泉に関しては、大気測定車(みどり 世号)による測定データを使用した。また、風向風速ベクトルの作成は、早狩氏作成の解析ソフト<sup>3)</sup>を使用した。

また、大陸越境汚染の指標となる硫酸イオン濃度も当所(宇土市)にて測定した。採取、試料の前処理及び

\* 現熊本県環境センター

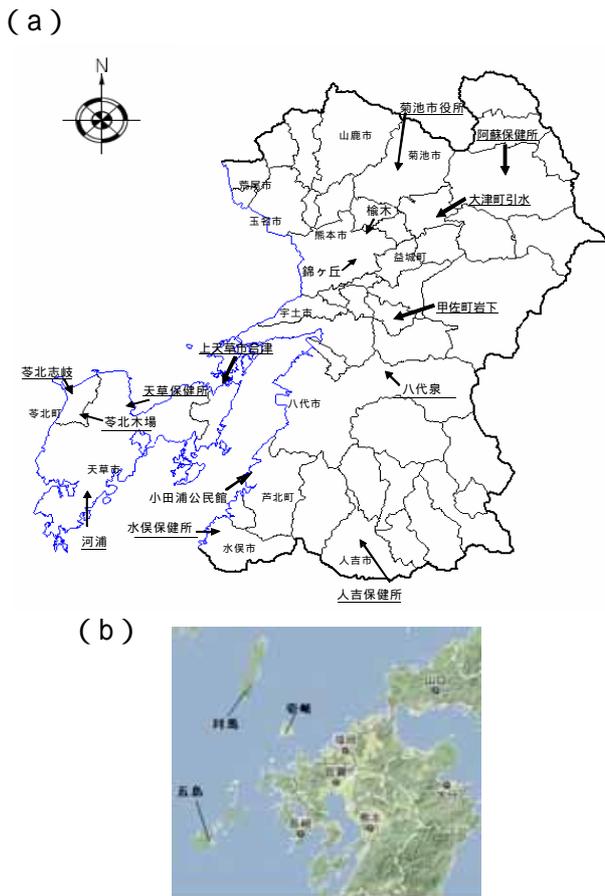


図1 測定地点

分析方法については、既報<sup>4)</sup>のとおりである。

## 2 高層気象データ

気象庁福岡管区気象台によるAM9時の高層気象データから、風向鉛直分布、比湿データを得た。なお、比湿は、相対湿度と気温から算出した。

## 3 後方流跡線解析

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>5)</sup>のデータを用い、苓北志岐、錦ヶ丘、阿蘇保健所及び対馬を起点とした5月8日の17時及び5月25日の4時の後方流跡線(起点高度500m、遡及時間72時間)を作成した。

## 結果及び考察

### 1 5月8日の高濃度Ox事例

#### (1) Ox濃度・風向ベクトルの挙動

図2(a)に5月8日のOx濃度分布を示す。図中の丸印が大きい程濃度は高い。長崎県の離島を含む九州全

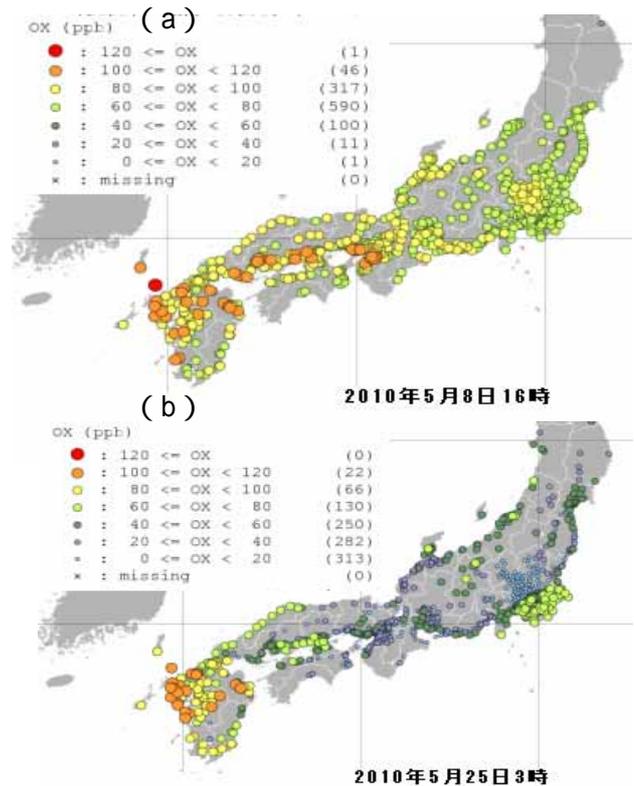


図2 Ox濃度分布

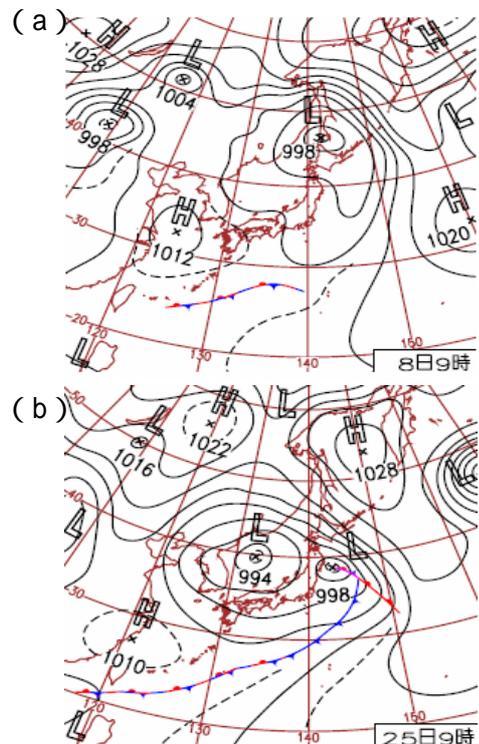


図3 天気図

域及び瀬戸内海沿岸域で広域的にOx濃度が100ppbを超過しており、本県でもこの年度の最高値114ppbを天草保健所で観測している。この日の気圧配置は、図3(a)

に示すとおり、西日本から東北南部は、大陸からの移動性高気圧に覆われて晴天となっていた。

この日の  $O_x$  及び地上風の風向ベクトルの時系列変化を図 4 に示す。

いずれの地点においても、 $O_x$  は、日中に最大となる一山型の典型的な日変化を示し、濃度の経時変下は類似していた。

風向ベクトルは、日中と早朝・夜間の風向が全く異なり、日中に風速が最大となる典型的な局地風（海陸風、山谷風）のパターンがいずれの地点でも見られた。

この日は熊本市測候所で最高気温が 28.8（5 月最高気温平均 25.4）と高く、全天日射量も  $26.6\text{MJ}/\text{m}^2$ （5 月平均 19.1）であり、局地風が卓越しやすい気象状況であった<sup>6)</sup>。

また、この日の AM9 時の風の鉛直変化を示した図 6 において、地上付近の風向は高層とは全く異なっていることから、この日は局地風が卓越していたと判断された。

## （2）高濃度要因

$O_x$  高濃度要因としては、大陸からの移流、成層圏オゾンの降下、地域での生成が考えられる<sup>1)</sup>。5 月 8 日の高濃度事例は、図 2 A に示したとおり、広域であり、周囲に発生源がほとんど無い長崎離島や天草地域で高濃度となっていることから、少なくとも九州地域については地域発生の影響は小さかったと考えられる。

図 7 に示した後方流跡線は、起点高度が 3000m 近くと高く、高層（福岡管区 AM9 時 800hPa（約 1500m 付近）の比湿も  $1.8\text{g}/\text{Kg}$ （5 月平均 5.6）と低かったことから、成層圏オゾンの影響の可能性も考えられるが、後方流跡線の経路は、大陸由来汚染気塊の移流があった可能性を示している。さらに、図 8 から、苓北志岐及び長崎離島において、 $O_x$  と  $\text{SO}_2$  に同様の経時変化が見られた。周囲に発生源がほとんど無い長崎離島での  $\text{SO}_2$  濃度の上昇は、後方流跡線（図 7）が NNW 方向からの気塊の到達を示していることから、桜島等の九州地域の火山活動による影響は考えられず、人為的な汚染気塊の到達を意味している。このことから、 $O_x$  濃度の上昇は、 $\text{SO}_2$  を含む汚染気塊が大陸から移流している影響が大きいとも推測された。

## （3）高濃度メカニズム

(2) で説明したとおり、この日は、移動性高気圧により、高濃度  $O_x$  を含む気塊が、本県を含む広範囲の地域に流入していたと考えられる。図 7 の後方流跡線

を見ると、気塊は NNW 方向から流入しており、図 6 の 650m 以上の高層風向と概ね一致している。このことから、大陸から移流した  $O_x$  を含む気塊は、本県を含む九州地域上空の高層に移流していたと推測される。一方で地上では、(1) で述べたとおり、晴天で、気温・日射量が高いために、気圧配置に伴って生じる一般風ではなく、海、陸や山、谷の地形的影響を受けたローカルな局地風が循環していた。

このような気象条件では、大気は不安定であることから、鉛直混合により、高層と地表の大気が混合しやすい<sup>7)</sup>。事実、標高の高い地点と地上での  $O_x$  濃度調査により、鉛直混合により地上  $O_x$  濃度が上昇したとする事例が、鶴野、若松等及び武により報告されている<sup>8),9)</sup>が、同様のメカニズムで、この日の地上  $O_x$  濃度も高濃度になったものと推測される。

この推測は、図 8 において、光化学反応によらない一次排出物である  $\text{SO}_2$  濃度に日内変動が見られるのは、高層にある高濃度  $\text{SO}_2$  層が日中の鉛直混合により地上の接地層と混合していると考えられることから裏付けられる。

また、図 10 に示すとおり、この日の各地点の  $O_x$  が最大濃度となる時刻は長崎県離島（対馬・壱岐・五島）から、熊本県の西部（天草）・中央部（熊本市周辺）・東部（阿蘇）の広域にかけて大きく変わらない。このことは、高濃度  $O_x$  気塊は水平方向では無く、鉛直混合により垂直方向から移流していたことを示唆する。

なお、この年の 5 月で、県内 5 局以上（全 23 局）において  $O_x$  が 80ppb を超過した事例 12 日の内、10 日は 5 月 8 日と同様に局地風が卓越していたと見られる。

## 2 5月25日の高濃度 $O_x$ 事例

### （1） $O_x$ 濃度・風向ベクトルの挙動

この日の特徴は、図 2(b) の  $O_x$  濃度分布が示すとおり、夜間において長崎県の離島を含む九州の広域で  $O_x$  濃度が 100ppb を超過していたことである。

図 3(b) に示す気圧配置は、典型的な大陸移流による  $O_x$  気塊流入パターンである。すなわち、寒冷前線が通過後、移動性高気圧によって、 $O_x$  濃度の高い大陸性の気塊が寒冷前線の背後に侵入することで  $O_x$  濃度が上昇したと考えられる。

24～25 日にかけての  $O_x$  及び地上風の風向ベクトルの時系列変化を図 5 に示す。

局地風が卓越していた 5 月 8 日と異なり、ほとんどの地点において、早朝から日中・夜間にかけて W～S の風が吹き、大きく風向きが変化しておらず、典型的

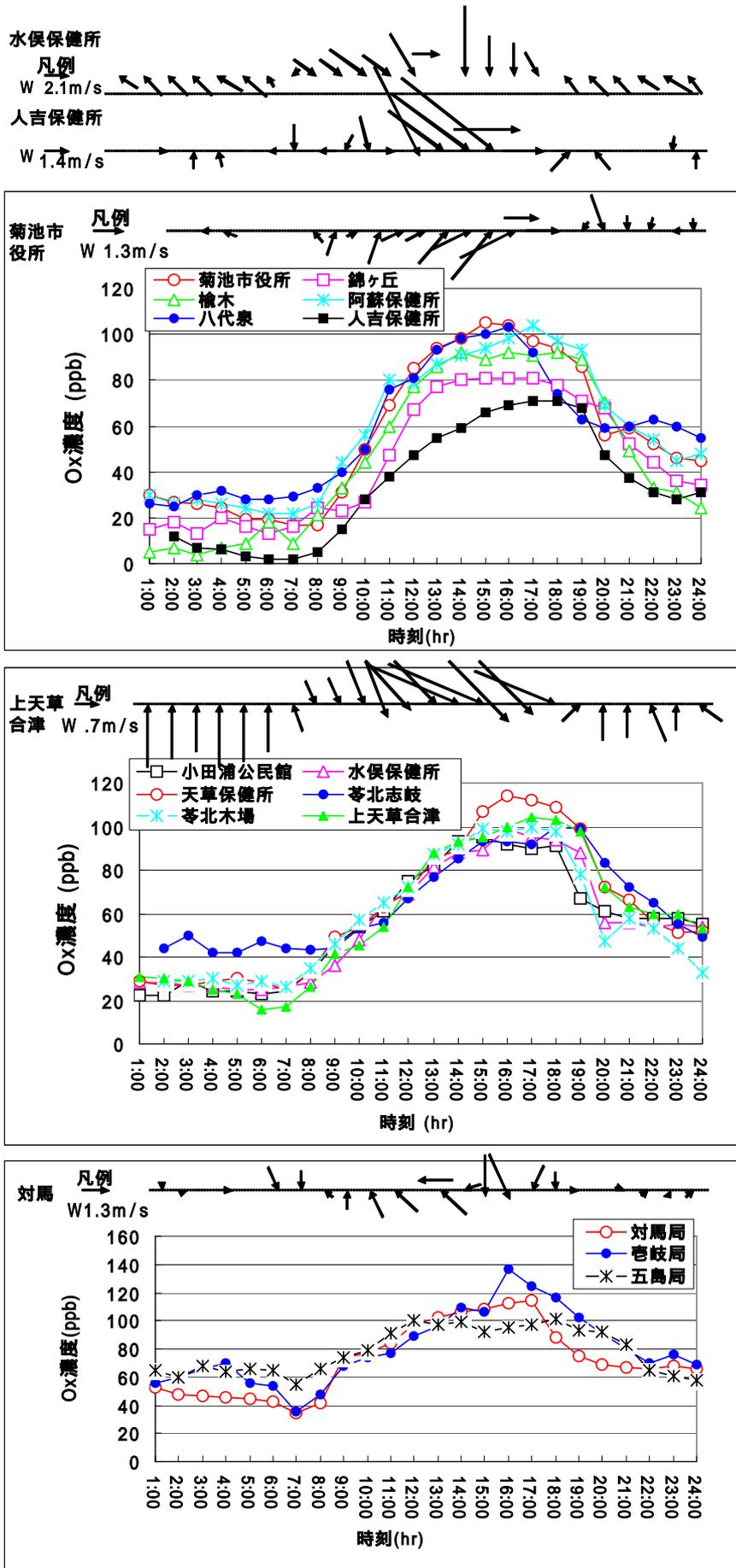


図4 5月8日のO<sub>3</sub>及び地上風の風向ベクトル時系変化

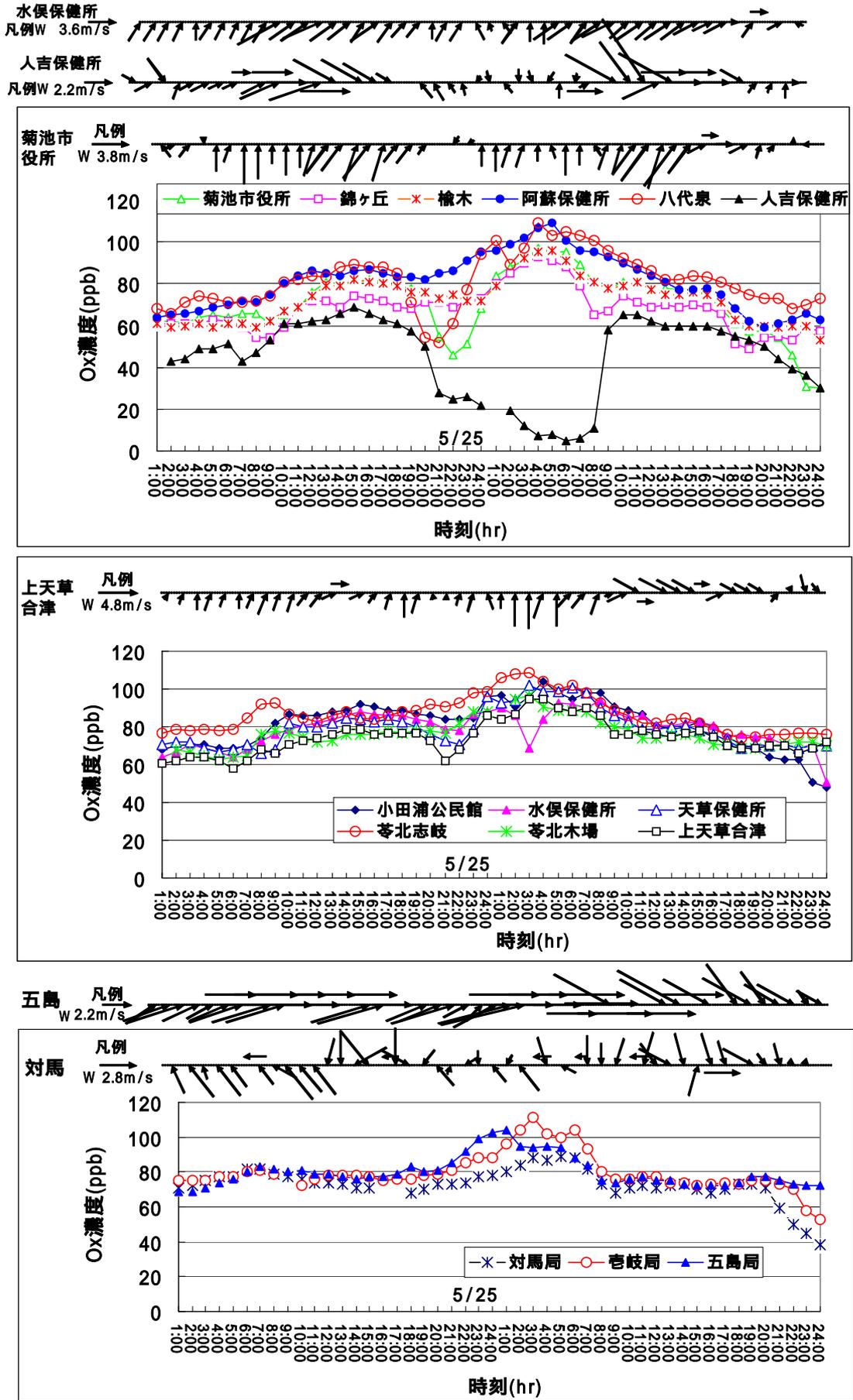


図5 5月24日~25日のOx及び地上風の風向ベクトル時系変化

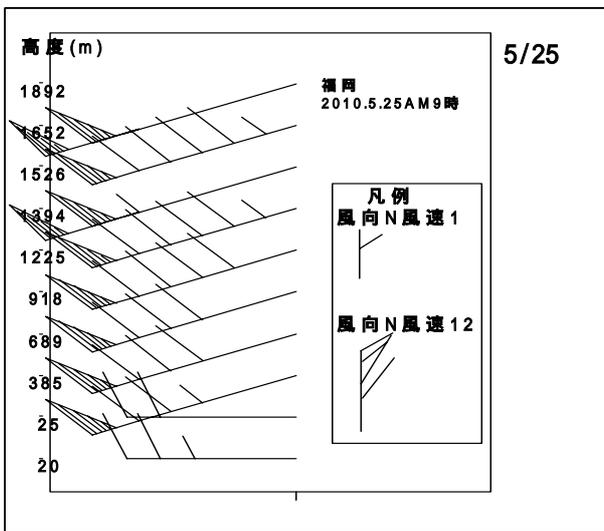
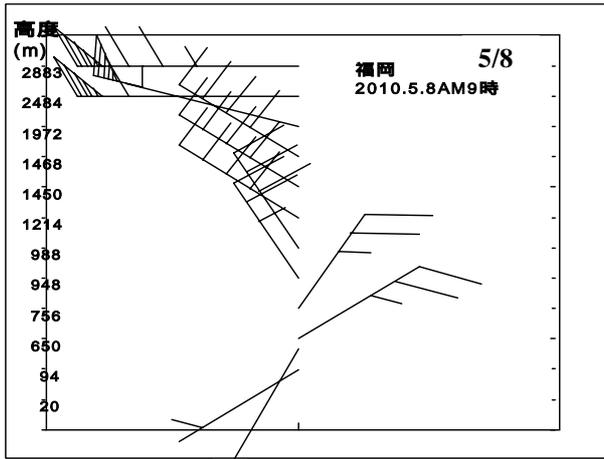


図6 風の鉛直変化(福岡管区 AM9)

な一般風(高低気圧の気圧配置により風向が決まる風)が卓越したパターンであった。Ox は 24 日から高いレベルにあり、25 日 AM1 時~5 時頃に最大となっており、県内最高濃度は 109ppb に達した。また、この日の AM9 時の風の鉛直変化を示した図 6 において、地上付近の風向は高層と概ね同じ方向であることから、この日は一般風が卓越していたと判断される。

### (2) 高濃度要因

図 2, 3 及び 5 に示したとおり、夜間に長崎離島を含む九州の広域で Ox が高濃度となっており、気圧配置が大陸越境移流時のパターンであった。さらに、図 7 に示した後方流跡線は、大陸方向からの気塊の到達を示しており、起点高度が 500m 近くとかなり低い。

また、大陸越境汚染の指標である硫酸イオン濃度も  $24.4\mu\text{g}/\text{m}^3$  (4/1~6/30 の平均 5.6) と非常に高い値が観測(宇土市)されていたこと、並びに図 9 から、SO<sub>2</sub> についても、Ox に追従した挙動が見られた。これらのこと

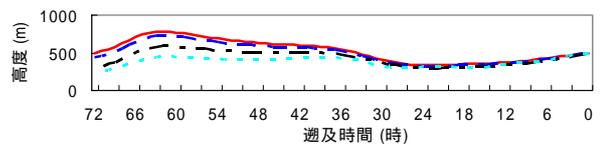
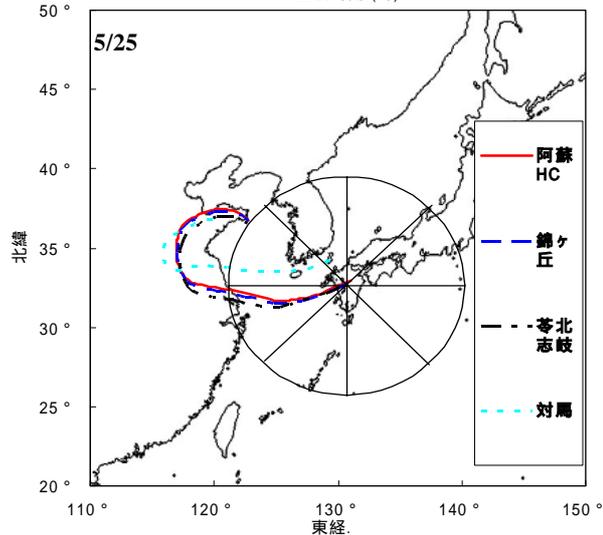
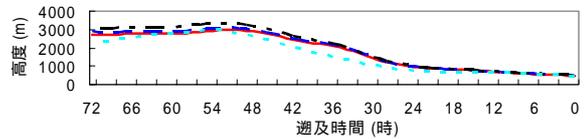
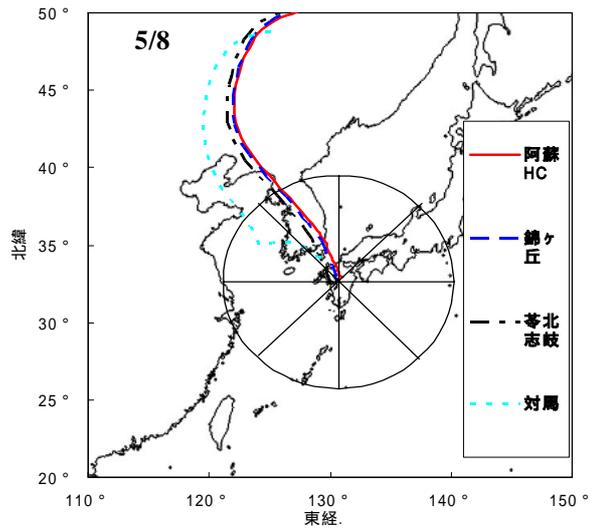


図7 後方流跡線

から、典型的な大陸からの汚染気塊の越境移流と判断された。

### (3) 高濃度メカニズム

図 5 から、この期間はほとんどの地点で 25 日午前中位まで W~S の地上風が吹いていたと判断された。図 7 に示す高度 500m での後方流跡線の流入方向 W~WSW と地上風は概ね同一の風向となっていることから、高層の一般風が地上に直接吹きつけることで、高濃度 Ox 気塊を含む気流が地上を通過したと考えられ

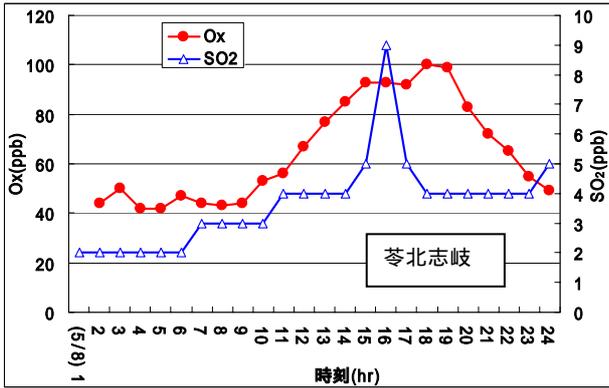


図8 5月8日におけるOx, SO<sub>2</sub>時系列変化

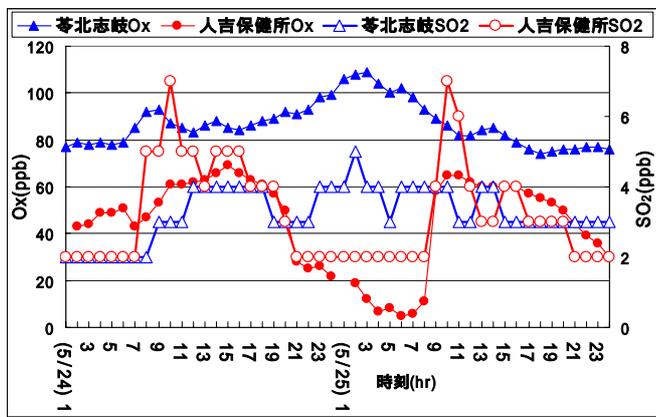
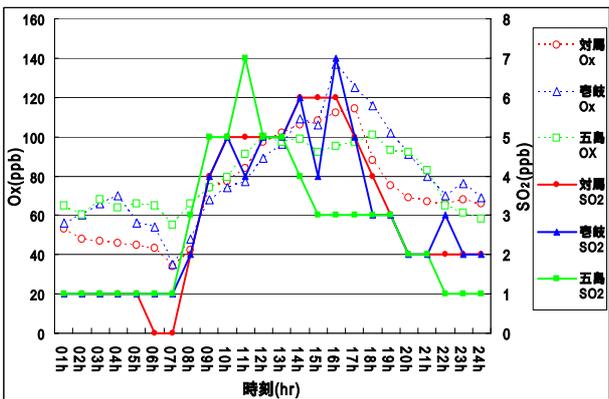


図9 5月24日～25日におけるOx、SO<sub>2</sub>時系列変化

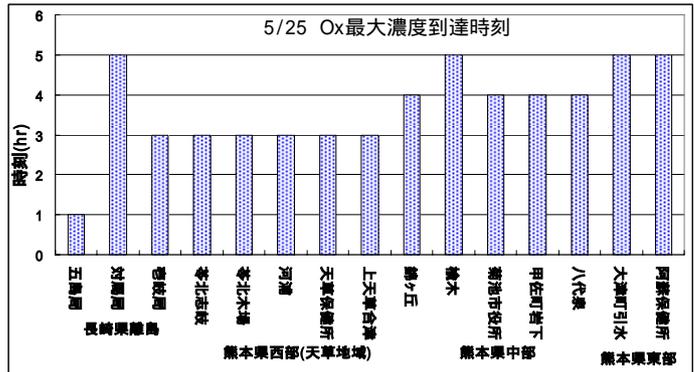
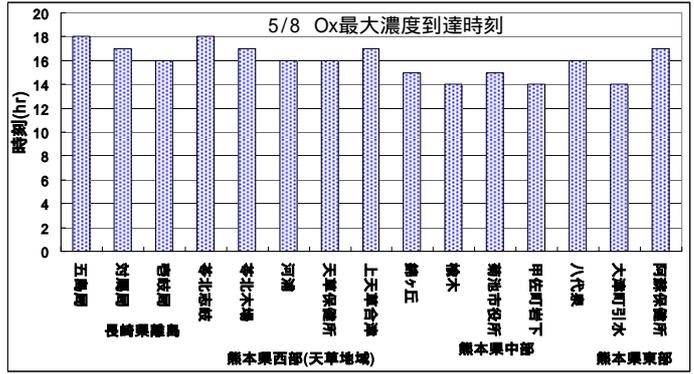


図10 Ox最大濃度到達時刻

た。このことは、図6の風の鉛直分布で低層～高層までW～WSWと概ね同一方向の風向となっていること、また図5から分かるとおり、夜間としては風速が大きいことから裏付けられる。

(4) 夜間Ox高濃度時の人吉保健所局の挙動

図5から、人吉保健所局では、24～25日の夜間のOx濃度が、県内他地点よりもかなり低く、通常の夜間濃度レベルとほとんど変わらなかった。風向ベクトルの時系列変化を見ると、ほとんどの地点でこの時間帯は、W～WSWの一定の風が吹いていた。対照的に人吉保健所局の風向挙動は風向の変動が大きく、さらに風速も通常の夜間レベルであり、他の地点と比べて小さかった。このことから、この時間帯の同局では、高層の一般風は地上にほとんど影響していなかったものと考えられた。従って、高濃度Ox気塊を含む気流は地上を直接通過していなかった可能性が高く、このため、鉛直混合がほとんど無かったことから、Ox濃度の上昇が見られなかったものと考えられた。

このことは、図9から、人吉保健所局におけるSO<sub>2</sub>濃度変動についても、Oxと同様にこの時間帯に低くなる挙動が見られることから裏付けられる。

このような現象が人吉保健所局で観測された理由としては、周囲を1000m前後の山岳に囲まれているため、

気流が山岳を通過することで、高度が高い状態で人吉を通過した可能性が推察された。

図 5 に示した対馬においても、24～25 日の夜間の Ox 濃度が同じ離島である五島、壱岐程高くなっていない。同期間の風向ベクトル挙動が他の地点と大きく異なっていることから、人吉保健所局と同様に高層の一般風の地上への影響が小さかったものと考えられ、このことが、他の離島地点程 Ox 濃度が高くならなかった要因であることが示唆される。

なお、この年の 5 月で、県内 5 局以上(全 23 局)において Ox が 80ppb を超過した事例 12 日間の内、2 日(5 月 24 日、25 日)のみが、一般風が卓越していたと見られた。

### まとめ

大陸越境移流時における県内 Ox 濃度の地域差の要因を明らかにすることを目的として、地上風の挙動に着目し、2010 年 5 月 8 日及び 25 日の 2 つの Ox 高濃度事例を解析した。

1 5 月 8 日は、長崎離島を含む相当の広範囲で Ox が高濃度となり、濃度の経時変化が類似し、地域生成の影響が小さいにも関わらず、局地風が卓越する気象状況であった。このことから、高層の汚染気塊が日中の鉛直混合により、地上 Ox 濃度を上昇させたものと推測された。

2 5 月 25 日は、夜間に Ox 濃度が 100ppb を超過し、地上でも一般風が卓越する気象状況であった。このことから、高濃度 Ox 気塊を含む気流が直接地上を通過することで、夜間においても地上における Ox が高濃度となったと考えられた。

3 5 月 25 日夜間の人吉 Ox 濃度が他地域よりもかなり低くなった理由としては、人吉は周囲を 1000m 前後の山岳に囲まれているため、気流が山岳を通過することで、高度が高い状態で人吉を通過し、高濃度 Ox 気塊を含む気流が直接地上を通過しなかったためと推測された。

### 文献

- 1) 岩本真二, 大石興弘, 田上四郎, 力寿雄, 山本重一: 大気環境学会誌, **43**, 173 (2008).
- 2) 大原利真, 鶴野伊津志, 黒川純一, 早崎将光, 清水厚: 大気環境学会誌, **43**, 198 (2008).
- 3) 早狩進: 気象解析アドイン  
(<http://www.jomon.ne.jp/~hayakari/>)
- 4) 上野一憲, 松本依子, 工藤 聖, 北岡宏道, 今村修  
熊本県保健環境科学研究所報, **38**, 73 (2008).

- 5) METEX ( Meteorological Data Explorer): 国立環境研究所地球環境研究センター
- 6) 小倉義光: 一般気象学[第 2 版]. p.242-247(1999), (東京大学出版会).
- 7) 長尾隆, 太田久雄: 公害と気象 観測と調査の実際. p.201-203(1974), (地人書館).
- 8) 鶴野伊津志, 若松信司, 植田洋匡, 村野健太郎: 大気環境学会誌, **32**, 404(1997).
- 9) 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.136-143(2010).