

## 熊本における2008年光化学オキシダント高濃度事象

飯野直子<sup>\*1</sup>・平田達二郎<sup>\*1</sup>・金柿主税<sup>\*2</sup>

### High Concentrations of Photochemical Oxidant Observed in 2008 in Kumamoto

Naoko IINO<sup>\*1</sup>, Tatsujiro HIRATA<sup>\*1</sup> and Chikara KANAGAKI<sup>\*2</sup>

(Received October 1, 2010)

The purpose of this study is to investigate the high oxidant concentrations observed in Kumamoto and to examine the possibility of this phenomenon as teaching materials for environmental and meteorological educations. Here, we discussed the continuous measurement Ox, NO, NO<sub>2</sub> and NO<sub>x</sub> data observed in Kumamoto City and Amakusa-Reihoku town in 2008. High Ox concentrations exceeding 60 ppb were extracted as high concentration events, and they were classified into three high concentrations factors, regional product, stratospheric ozone intrusion, and long-range transport from the continent. As the result, the 129 high Ox events were observed in 2008 and the ratio of factors of these events, regional product, stratospheric ozone intrusion, long-range transport from the continent, and unknown was estimated with 21, 6, 43, and 30 %, respectively. Since the results were consistent with the previous studies, we concluded that the high Ox concentration events discussed here is suitable for teaching materials.

**Key words :** long-range transport, backward trajectory, teaching materials

#### 1. はじめに

環境教育は「環境のための教育」から「持続可能な社会の実現のための教育」へと変化しており、その対象は環境・公害問題だけではなく、社会経済システムやライフスタイルなど多岐にわたっている[1]. 平成20年に告示された新学習指導要領では、これまで環境教育を中心的に担ってきた「総合的な学習の時間」の授業時数は減少したが、各教科において環境教育の充実が図られている。環境教育の一層の推進の観点から、小学校理科では地域の特性を生かし、その保全を考えた学習などの充実が図られている[2]. 中学校理科では、内容(7)の「科学技術と人間」と「自然と人間」の中の選択履修の内容が必修修となるとともに、第1分野と第2分野に共通の最終項目「自然環境の保全と科学技術の利用」が新設され、それまでの学習を活かし総合的に扱うことになった[3]. また、今回の学習指導要領の理科の改善では、実感を伴った理解、自然を探究する能力や態度の育成、科学的な知識や概念を活用したり実生活や実社会と関連付けたりしながら科学的な見方や考え方を育成すること、自然に対す

る総合的なものの見方を育てることが重視されている。子どもたちに身近な事象や地域素材を題材とした理科学習や自然体験・科学体験などを活用しながら総合的な見方や考え方をもって探究する教材が求められていると思われる。

近年、日本国内における光化学オキシダント濃度レベルは上昇傾向にあり、光化学オキシダント注意報の発令地域が広域化している。光化学オキシダントの環境基準は1時間値が60 ppb以下となっている。光化学オキシダント濃度の1時間値が120 ppb以上となり気象条件からその状態が継続することが予想される場合は注意報が、240 ppb以上で、気象条件からその状態が継続することが予想される場合には警報が、都道府県知事などによって発令される。光化学オキシダントが高濃度となる要因は、地域に存在する汚染物質による地域における生成、大陸からの移流、成層圏オゾンの沈降などである。

2006年6月7日には、熊本における観測史上初めて光化学スモッグ注意報が熊本市に発令された。翌年以降も熊本市や天草、菊池、宇城、上益城地域などで注意報が発令されている。2007年5月8日から9日にかけて、九

\*1 熊本大学教育学部

\*2 甲佐町立甲佐中学校/鹿児島大学教育学部研究協力員

州から西日本の広範囲で発生した光化学オゾン汚染は、観測データの解析や東アジアスケール化学輸送モデルを用いた解析の結果から、大陸からの移流の影響が示唆されている[4-6]。また、2003年から2007年の福岡県におけるオキシダント高濃度要因の分類の結果から、2006年を除いて高濃度日が年々増加しており、移流の影響が強いと思われる日数の上昇が著しいことや移流の割合が30%以上を占めることが明らかにされている[7]。これらの結果から熊本の大気環境も大陸からの移流の影響を受けていると考えられる。

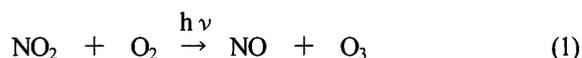
著者らは、熊本の地域素材を用いて、理科学習を活用して取り組む大気・熱環境学習プログラム作成を目指している。ここでは、環境学習のための題材や気象学習を活用してとりくむ探究的な課題として熊本における越境大気汚染を教材化するための基礎研究として、2008年に熊本で観測された光化学オキシダント高濃度事象の要因分類を行なった結果を報告する。

## 2. 光化学オキシダント

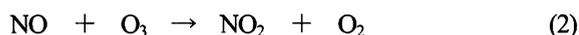
光化学オキシダントは、自動車や工場などから排出される窒素酸化物や炭化水素が紫外線を受けて光化学反応を起こすことにより生成される二次的汚染物質である。オゾン、パーオキシアセチルナイトレートなどの酸化性物質の総称であり、その主成分はオゾンである。

### 2.1 地域での生成

光化学オキシダント(Ox)の生成機構は、その地域の非メタン炭化水素(NMHC)濃度によって異なる。NMHCの影響がほとんどない場合は式(1)と式(2)の反応過程が支配的となる。二酸化窒素(NO<sub>2</sub>)に紫外線があたると光解離を起こし、一酸化窒素(NO)とオゾン(O<sub>3</sub>)を生成する。

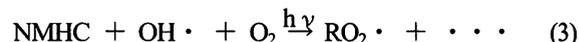


生成したO<sub>3</sub>はNOと容易に反応してNO<sub>2</sub>になり、



O<sub>3</sub>は高濃度になりにくい。NO<sub>2</sub>、NO、O<sub>3</sub>は速い平衡状態にあり、NO<sub>2</sub>に強い紫外線があたる状態では、常にこれらの物質が存在することになる。

一方、NMHCの濃度がNO<sub>x</sub>に比べて相対的に高く、O<sub>3</sub>の生成に強く影響する場合は、紫外線により生成したOHラジカル(OH・)とNMHCが式(3)のように反応し、反応性の高い過酸化ラジカル(RO<sub>2</sub>・)を生成する。



RO<sub>2</sub>・はNOを酸化してNO<sub>2</sub>を生成する一方、自身はアルコキシラジカル(RO・)となる。



このときNOは式(2)とは異なりO<sub>3</sub>ではなくNMHCから生成したRO<sub>2</sub>・と反応してNO<sub>2</sub>に戻るため、O<sub>3</sub>が消滅しにくい。さらに式(4)のRO・はO<sub>2</sub>と反応して炭素数の少ない別の過酸化ラジカルR'O<sub>2</sub>・となる。



このようにして過酸化ラジカルが再生され、最終的にOH・も再生されるため、連鎖的にNOがNO<sub>2</sub>に酸化されていく。生成したNO<sub>2</sub>は紫外線によりNOとO<sub>3</sub>を生成する(式(1))ため、O<sub>3</sub>が急速に増加することになる[8]。

### 2.2 大陸からの移流

光化学オキシダントの前駆物質であるNO<sub>x</sub>とNMHCの全国平均濃度の経年変化によると、NO<sub>x</sub>は1996年度から減少傾向であり、NMHCは1985年から2004年度の20年間で概ね減少傾向を示している。しかし光化学オキシダント濃度は増加傾向にあることから大陸からの越境輸送の影響が推測されている[9]。また、文献[4-7]の研究結果からも光化学オキシダント高濃度の要因として大陸からの移流が示唆されている。

### 2.3 成層圏オゾンの沈降

成層圏に存在するO<sub>3</sub>が春先にジェット気流の蛇行に伴って高緯度から中緯度上空に輸送され、それが寒冷前線の通過と移動性高気圧の沈降プロセスで地表面付近に沈降することによって光化学オキシダント濃度が上昇する。

## 3. 使用データと解析方法

### 3.1 大気環境データ

熊本市内の京町局と錦ヶ丘局および天草郡苓北町の苓北志岐局の計3局の2008年の大気環境データの1時間値を使用した。測定局の位置を図1に●で示す。錦ヶ丘局は交通量が多い地域であり、NMHC濃度も測定されていることから都市部の代表として選定した。京町局は熊本地方気象台から至近距離にあるため選定した。苓北志岐局は海に面した比較的空気が清浄な農業地帯にある。熊本県西部に位置しており中国大陸に近い。なお、苓北志岐局の南南西約3kmに苓北発電所(火力)があるが、

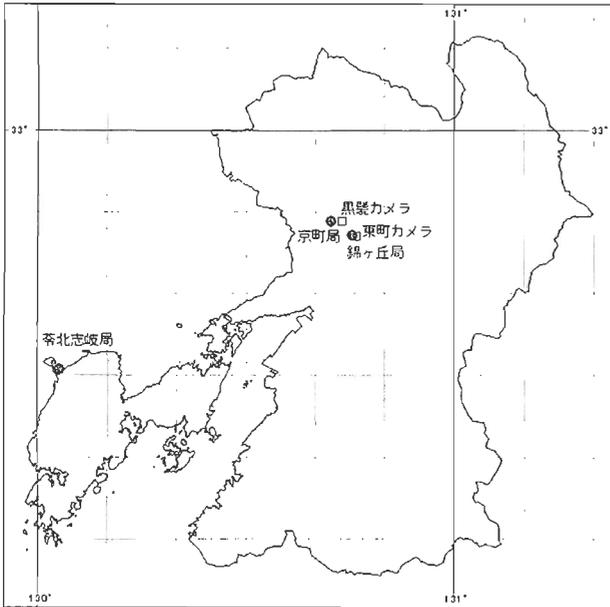


図1 大気環境測定局(●)と情報カメラ(□)の位置

NOx の年平均値は 3 ppb 程度である。これら 3 局の Ox, NO, NO<sub>2</sub>, NOx の月ごとの経時変化と月平均濃度の経月変化のグラフを作成して大気環境の特徴を調べた。錦ヶ丘局については NMHC の月平均濃度の経月変化もあわせて検討した。また、浮遊粒子状物質 (SPM) と二酸化硫黄 (SO<sub>2</sub>) 濃度も参照した。

光化学オキシダント高濃度の要因分類では、環境基準の 1 時間値 60 ppb を超える場合を高濃度事象として抽出した。高濃度事象が発生した月、日、高濃度開始時刻、終了時刻、高濃度継続時間、Ox 濃度最高値とその時刻を調べて表にした。

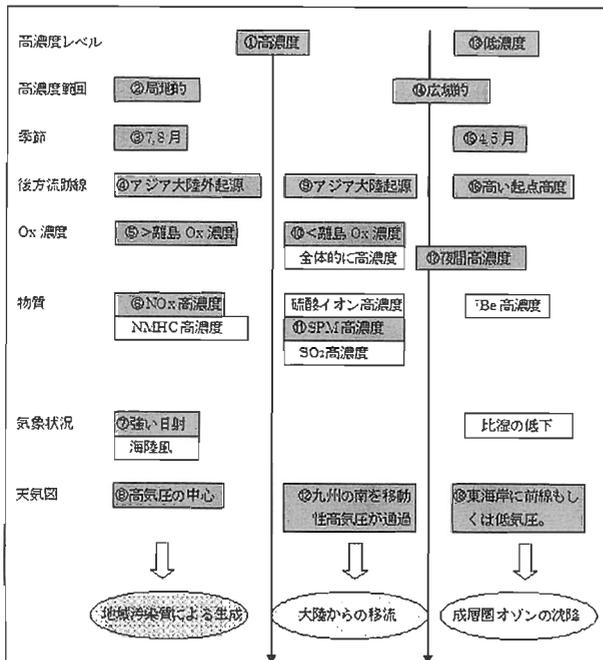


図2 光化学オキシダント高濃度分類図[7]  
本研究で検討した要素を濃灰色で示す。

高濃度発生要因の分類は岩本ら[7]の方法で行った。ただし、教材化することを考えて、容易に入手できるデータを使って検討した。要因を分類するために検討した要素を図2に示す。この図は岩本ら[7]の Fig. 4 を日本語標記したものである。本研究では濃灰色で示す 1~18 の要素について総合的に検討して分類を行った。なお、図中の離島の Ox 濃度は茶北志岐局の Ox 濃度とした。(1)地域での生成は、高濃度レベルが高いこと、高濃度範囲が局所的であること、高濃度時期が 7, 8 月であること、後方流跡線が大陸方向でないこと、茶北志岐局の Ox 濃度よりも熊本市内の局のほうが高濃度であること、NOx が高濃度であること (NMHC は適宜参照した)、強い日射があること、地域が高気圧の中心にあることを特徴として検討した。(2)大陸からの移流は、高濃度レベルが高いこと、広域的な汚染であること、後方流跡線が大陸方向であること (高度 3 km 未満)、茶北志岐局の Ox 濃度よりも熊本市内の局の方が低濃度であること、夜間に高濃度であること、SPM 濃度が高濃度であること (SO<sub>2</sub> 濃度も適宜参照した)、九州の南を移動性高気圧が通過していることを特徴として検討した。(3)成層圏オゾンの沈降は、高濃度レベルが低いこと、高濃度範囲が広範囲であること、高濃度時期が 4, 5 月であること、後方流跡線が高い起点高度になっていること (高度 3 km 以上)、夜間に高濃度であること、東海岸に前線もしくは低気圧があることを特徴として検討した。これらのいずれの分類にもあてはまらなかったものや、複数あてはまるものについては不明とした。なお、岩本ら[7]が示した特徴は、化学輸送モデルを用いた定量的な見積りからも支持されている[10]。

### 3. 2 気象データ

Ox 高濃度事象発生時の気象状況を調べるために、気象庁の全天日射量と天気、天気図データを使用した[11]。全天日射量と天気は気象庁のホームページ内の気象統計情報の中から、熊本地方気象台における 1 時間ごとの値から調べて高濃度事象をまとめた表の気象欄に記した。天気図は防災気象情報として 3 時、6 時、9 時、12 時、15 時、18 時、21 時の 1 日 7 枚提供されている実況天気図をダウンロードして使用した。

### 3. 3 後方流跡線

後方流跡線の計算には米国海洋大気局 (NOAA) の HYSPLIT Model を使用した[12]。高濃度事象の濃度最高値を記録した時刻に大気環境測定局の地表面、500 m, 1000 m 上空に位置した気塊の 72 時間後方流跡線を計算した。

### 3. 4 情報カメラ映像

情報カメラ映像の撮影位置を図1に□で示す。東町カメラは錦ヶ丘局の東南東 約 1 km に位置し、東北東~北

東方向の阿蘇方面を撮影している。機材は Windows XP 搭載のノートパソコンと 130 万画素の USB カメラを使用している。撮影及び画像保存は、定点観測用ソフトウェア ListCam[13]を使用している。画像は VGA サイズ (640 × 480 pixels) で、6 : 00~18 : 00 の日中に 30 秒間隔で撮影している。黒髪カメラはデジタルカメラ (RICOH R8) のインターバル撮影機能を使って 30 分間隔で南の空を撮影している。この画像は補助的に使用した。

#### 4. 結果と考察

##### 4. 1 3局における光化学オキシダント濃度の状況

3局のOxの月平均濃度の経月変化を図3に示す。夏季を除いて天草郡の苓北志岐局の月平均濃度値が熊本市内の2局の月平均濃度値よりも高くなっている。熊本市内の2局は春季と秋季にピークをもつ二山型であるのに対して、苓北志岐局では春季に大きなピークをもち、夏季にいったん低下した後、秋から春にかけて平均濃度が徐々に上昇する一山型となっている。熊本市内の錦ヶ丘局におけるOx, NO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>x</sub>, NMHC濃度の月平均値の経月変化を図4に示す。冬季にNO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>x</sub>, NMHC濃度の上昇がみられるが、1, 2, 12月のNMHC/NO<sub>x</sub>値は0.50~0.68と小さく、高濃度Oxは発生しにくいと考えられる。自動車などから排出されたNOとO<sub>3</sub>が反応してOx濃度が低下したと考えられる。一方、苓北志岐局では1年を通してNO<sub>x</sub>の月平均濃度が3ppb程度と低いため(図5)、地域生成の影響はあまり大きくないと考えられ、他の地域からのOx移流や成層圏オゾンの沈降の影響が大きいと考えられる。冬季についてみると、NOとO<sub>3</sub>の反応によるOx濃度低下の影響が少ないため、熊本市内の2局と異なり、冬季にOx濃度があまり低下しなかったと考えられる。Ox高濃度日数の経月変化を図6に示す。いずれの局も春季(3月~5月)に大きなピークがあり、秋にも小さなピークがみられる。10月のOxの月平均濃度は熊本市内の2局とも苓北志岐局より低いものの環境基準超過日数は多くなっている。熊本市内の2008年10月の高濃度事象は日中に短時間(1~2時間)発生したものが多かった。

##### 4. 2 光化学オキシダント高濃度要因分類

Ox高濃度事象の日別に図2に示す要素を検討し、発生要因を分類した。測定局ごとの高濃度事象日、発生要因の分類結果、その判定根拠を表1に示す。高濃度事象は129事象(日)あった。地域での生成が27事象(約21%)、大陸からの移流が56事象(約43%)、成層圏オゾンの沈降が7事象(約6%)、その他不明が39事象(約30%)であった。熊本県の2008年における高濃度Ox事象は大陸からの影響を大きく受けていることがわかった。

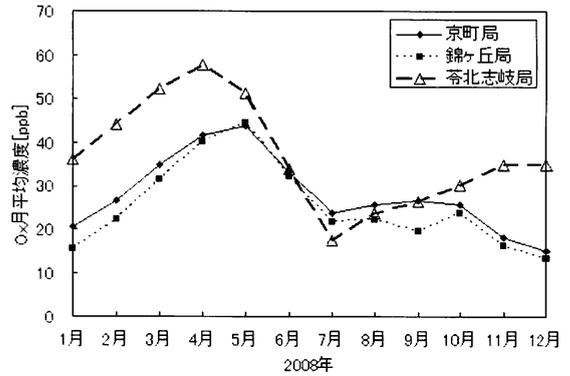


図3 3局におけるOxの月平均濃度の経月変化

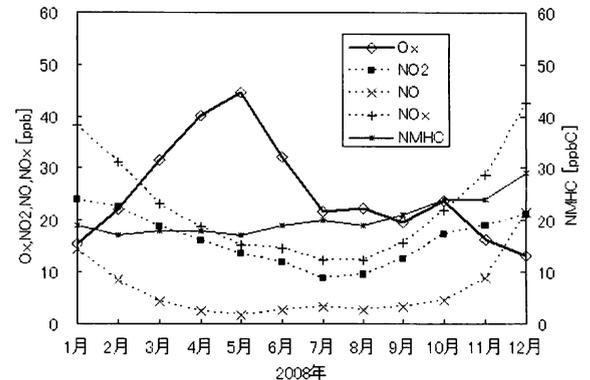


図4 錦ヶ丘局におけるOx, NO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>x</sub>, NMHCの月平均濃度の経月変化

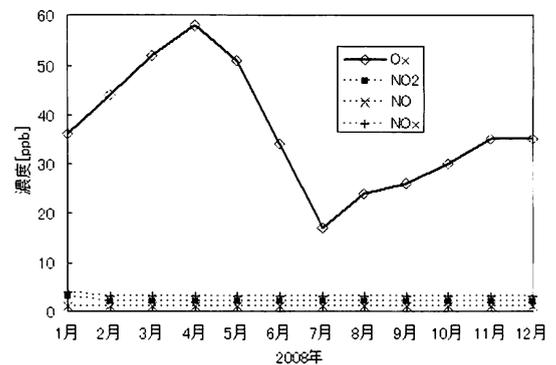


図5 苓北志岐局におけるOx, NO<sub>2</sub>, NO, NO<sub>x</sub>の月平均濃度の経月変化

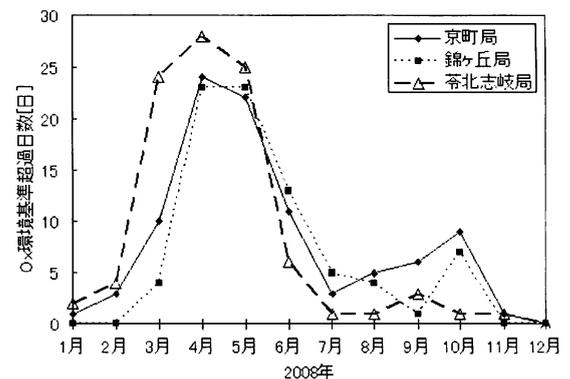


図6 3局におけるOx環境基準超過日数の経月変化

表1 光化学オキシダント(Ox)高濃度要因分類の結果 (2008 年)

京町局	錦ヶ丘局	苓北志岐局	要因	判断根拠(図2の1~18)
1月8日		1月8日	移流	9,10,11,12,14,17
		1月9日	不明	
2月20日		2月20日	移流	9,11,12,14,17
2月21日		2月21日	沈降	13,14,16,17,18
		2月23日	不明	
2月29日		2月29日	移流	10,11,12,14,17
		3月2日	移流	1,9,10,12,17
		3月3日	不明	
		3月4日	移流	9,10,12,17
		3月5日	移流	9,10,12,17
		3月6日	沈降	13,16,17,18
		3月7日	不明	
		3月8日	移流	9,10,12
3月10日		3月10日	移流	9,12,14
3月11日	3月11日	3月11日	移流	1,9,10,11,12,14,17
3月12日	3月12日	3月12日	移流	1,9,10,11,14,17
3月13日	3月13日	3月13日	移流	9,11,14,17
3月17日		3月17日	不明	
		3月19日	不明	
		3月20日	移流	9,10,11,17
		3月21日	沈降	13,16,17,18
3月22日		3月22日	移流	9,10,14,17
		3月23日	移流	9,10,11,12,17
3月24日		3月24日	移流	1,9,10,11,12,14,17
3月25日	3月25日	3月25日	移流	1,9,10,11,12,14,17
		3月26日	移流	9,10,11,12,17
		3月27日	沈降	13,16,17,18
		3月28日	移流	9,10,12,17
3月29日		3月29日	沈降	13,14,16,17,18
3月31日		3月31日	移流	9,12,14,17
4月1日	4月1日	4月1日	移流	1,9,11,12,14,17
4月2日		4月2日	移流	1,9,10,11,12,14,17
4月3日	4月3日	4月3日	移流	1,9,10,12,14,17
4月4日	4月4日	4月4日	移流	1,9,10,11,12,14,17
4月5日		4月5日	移流	9,11,12,14,17
4月6日	4月6日	4月6日	移流	1,9,11,14,17
4月7日	4月7日	4月7日	移流	1,9,14,17
4月8日	4月8日	4月8日	移流	1,9,10,14,17
	4月10日	4月10日	不明	
4月11日	4月11日	4月11日	不明	
4月12日	4月12日	4月12日	不明	
4月14日	4月14日	4月14日	生成	1,4,7,8
4月15日	4月15日	4月15日	不明	
		4月16日	不明	
		4月17日	不明	
4月18日	4月18日	4月18日	移流	1,9,12,14,17
4月19日	4月19日	4月19日	移流	1,9,10,14,17
4月20日	4月20日	4月20日	移流	9,10,14,17
4月21日	4月21日	4月21日	不明	

京町局	錦ヶ丘局	苓北志岐局	要因	判断根拠(図2の1~18)
4月22日	4月22日	4月22日	不明	
		4月23日	不明	
4月24日	4月24日	4月24日	移流	1,9,10,12,14,17
4月25日	4月25日	4月25日	移流	1,9,10,11,12,14,17
4月26日	4月26日	4月26日	移流	1,9,10,11,12,14,17
4月27日	4月27日	4月27日	移流	1,9,10,11,12,14,17
4月28日	4月28日	4月28日	移流	1,9,10,11,12,14,17
4月29日	4月29日	4月29日	移流	1,9,11,14,17
4月30日	4月30日	4月30日	移流	9,11,12,14
		5月1日	移流	9,10,11
5月2日	5月2日	5月2日	不明	
5月3日	5月3日	5月3日	不明	
5月4日	5月4日	5月4日	不明	
		5月5日	移流	9,10,12,17
5月6日	5月6日	5月6日	不明	
5月7日	5月7日	5月7日	不明	
5月8日	5月8日	5月8日	移流	1,9,12,14
5月9日	5月9日		不明	
		5月12日	不明	
5月13日	5月13日	5月13日	移流	1,9,12,14,17
5月14日	5月14日	5月14日	移流	1,9,10,11,12,14,17
5月15日	5月15日	5月15日	移流	1,9,10,12,14,17
5月16日	5月16日	5月16日	移流	1,9,11,12,14,17
5月17日	5月17日	5月17日	移流	1,9,11,12,14,17
	5月18日		生成	2,4,5,7,8
		5月19日	不明	
5月20日	5月20日	5月20日	移流	1,9,12,14,17
5月21日	5月21日	5月21日	移流	1,9,10,12,14,17
5月22日	5月22日	5月22日	不明	
5月23日	5月23日		生成	1,2,4,5,7,8
5月24日	5月24日	5月24日	不明	
		5月25日	不明	
5月26日	5月26日	5月26日	移流	1,9,12,14
5月27日	5月27日	5月27日	移流	1,9,11,14
5月29日	5月29日	5月29日	不明	
5月30日	5月30日	5月30日	不明	
5月31日	5月31日	5月31日	移流	1,9,10,12,14,17
6月1日	6月1日	6月1日	移流	1,9,11,14,17
		6月3日	不明	
6月5日	6月5日	6月5日	不明	
6月6日	6月6日	6月6日	移流	1,9,12,14,17
6月7日	6月7日		不明	
6月9日	6月9日		生成	2,4,5,7,8
	6月11日		不明	
6月12日	6月12日	6月12日	不明	
6月13日	6月13日	6月13日	不明	
6月14日	6月14日		生成	2,4,5,7,8
6月15日	6月15日		不明	
6月23日	6月23日		生成	2,4,5,8
6月27日	6月27日		生成	2,4,5,8

京町局	錦ヶ丘局	苓北志岐局	要因	判断根拠(図2の1~18)
	6月30日		生成	2,4,5,8
7月8日	7月8日		生成	2,3,4,5,7,8
		7月9日	移流	9,10,11,12
7月10日	7月10日		生成	1,2,3,4,5,7
	7月11日		生成	2,3,4,5,7
7月15日	7月15日		生成	1,2,3,4,5,7,8
	7月31日		生成	1,2,3,4,5,7,8
8月5日	8月5日		生成	1,2,3,4,5,7,8
8月6日	8月6日	8月6日	生成	1,2,3,4,5,7,8
8月20日	8月20日		不明	
8月21日	8月21日		移流	9,11,12,14
8月26日			生成	1,2,3,4,5
9月4日			生成	2,4,5,7,8
9月5日			生成	1,2,4,5,7
		9月8日	生成	2,4,5,8
9月9日		9月9日	生成	1,4,5,7,8
9月10日		9月10日	生成	1,4,5,8
9月11日	9月11日		生成	2,4,5,7,8
9月22日			生成	2,4,5,7
10月4日	10月4日		生成	2,4,5,7
10月8日			生成	2,4,5,6,8
10月9日			生成	2,4,5,6,8
10月11日	10月11日		不明	
10月13日	10月13日		沈降	13,16,17,18
10月15日	10月15日	10月15日	移流	1,9,12,14,17
10月16日	10月16日		生成	1,2,4,5,6,7,8
10月19日	10月19日		沈降	13,16,18
10月20日	10月20日		不明	
11月1日			不明	
		11月16日	移流	9,10,12,17

4. 3 光化学オキシダント高濃度要因別の典型例

1) 地域での生成 (2008年7月15日)

7月15日は京町局で12時~15時、錦ヶ丘局で12時~14時の時間帯にOx高濃度が継続していた。京町局は13時に、錦ヶ丘局は12時にピークをむかえ、濃度はそれぞれ73ppbと67ppbであった。同日の苓北志岐局ではOx濃度は環境基準を下回っていた。したがってこの日の汚染範囲は広域的ではなかったといえる。この日の天気は晴れで全天日射量は13時で3.37 MJ/m<sup>2</sup>と高く、13時までの積算日射量は14.53 MJ/m<sup>2</sup>であった。図7に東町カメラの映像を示す。図7の(a)はOx高濃度事象が起きていない2008年12月7日12時、(b)は7月15日12時の映像である(原画はカラー)。12月7日12時の天気は快晴、雲量は0+、視程は50kmで、錦ヶ丘局のOx濃度は36ppbであった。図7(a)では約30km先の冠ヶ岳や俵山が見えている。一方、Ox高濃度事象日の7月15日12時の天気は晴れ、雲量は6、視程は15.0kmであった。全体的に霞んでお

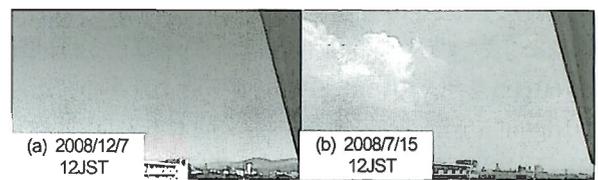


図7 東町カメラ映像  
(a)2008/12/7 12 JST (b)2008/7/15 12 JST

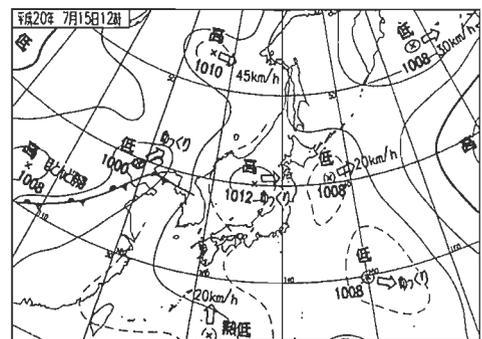


図8 2008/7/15 12 JST の地上天気図

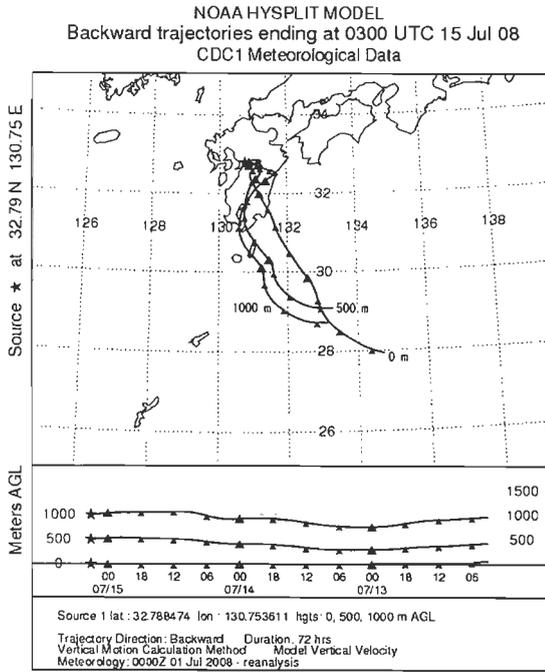


図9 錦ヶ丘局からの72時間後方流跡線 (2008/7/12 12 JST ~2008/7/15 12 JST)

り、視程が低下していることがわかる。7月15日12時の天気図を図8に示す。日本列島は概ね高気圧の支配下にある。後方流跡線は太平洋方向になっており、大陸からの影響は見られない(図9)。以上の点から総合的に判断して、7月15日の高濃度事象は地域での生成であると判定した。

2) 大陸からの移流 (2008年4月25日~27日)

茶北志岐局における4月25日~27日のOxとSPMの経時変化を図10に示す。4月25日9時から4月27日20時までの59時間(途中欠測あり)連続してOx濃度が60ppbを超えていた。SPMも平常時より高めであり、60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ を超えることがあった。熊本市の京町局では25日11時~22時、26日9時~27日4時、10時~20時の間、錦ヶ丘局では25日11時~20時、26日9時~22時、24時~27日4時、10時~19時にOxが高濃度となっていた。この期間の光化学オゾン汚染範囲は広域的であったということが出来る。Oxのピークの濃度は京町局、錦ヶ丘局でそれぞれ84ppb(4月25日16時)、80ppb(4月25日16時)であり、茶北志岐局は95ppb(4月26日16時、17時)と3地点とも高濃度レベルが高めである。この期間の茶北志岐局のOx濃度は熊本市の濃度を上回っていた。4月26日13時の東町カメラの映像を図11に示す(原画はカラー)。画面全体が霞んでおり、視程が低下している様子がわかる。このときの錦ヶ丘局のOx濃度は80ppbであった。12時の天気は晴れ、雲量は3、視程は12.0kmであり、12:

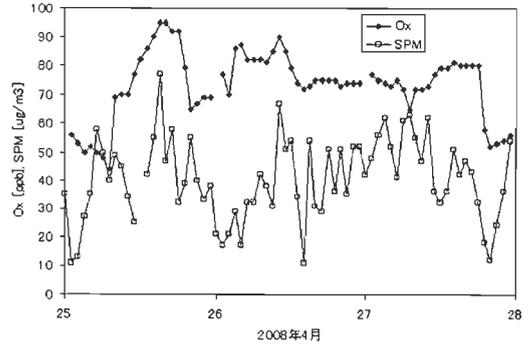


図10 茶北志岐局における2008/4/25~27のOxとSPM濃度の経時変化

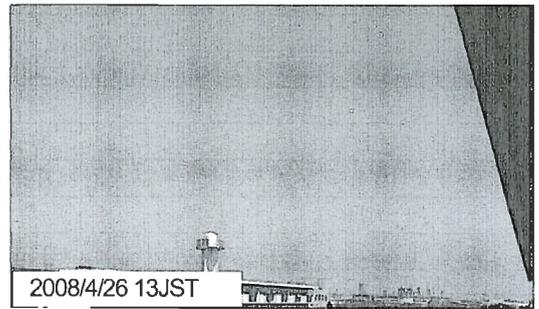


図11 東町カメラ映像

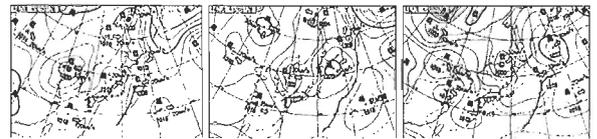


図12 2008/4/25~27の12JSTの地上天気図

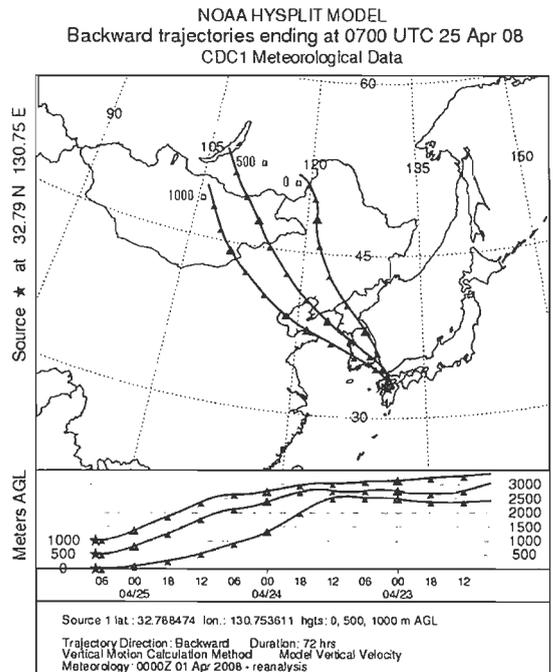


図13 錦ヶ丘局からの72時間後方流跡線 (2008/4/22 16 JST~2008/4/25 16 JST)

40 から 14:50 まで黄砂現象が観測されていた。4 月 25 日、26 日、27 日の 12 時の天気図を図 12 に示す。九州の南を移動性高気圧が通過していた。後方流跡線は大陸方向であり、中国の大都市である北京や韓国の大きな工業都市である仁川や大邱などを通過している（図 13）。以上の点から総合的に判断して、4 月 25 日～27 日の高濃度事象は大陸からの移流であると判定した。

3) 成層圏オゾンの沈降 (2008 年 3 月 21 日)

3 月 21 日は苓北志岐局において 12、17、18 時に環境基準を超えていた。Ox 濃度最大値は 17 時の 63 ppb であった。この日は熊本市内の 2 局では環境基準を超えなかったが 20 日から引き続き夜間も比較的高めの濃度で推移しており、ピークの濃度は錦ヶ丘局で 15 時に 57 ppb、京町局で 14 時に 55 ppb であった。濃度レベルは低いが高濃度の傾向であったといえる。この日の熊本地方気象台における 15 時の天気は晴れ、雲量は 2、視程は 40.0 km であった。東町カメラ映像（図 14）をみても大気はクリアであり、大陸性の汚染気塊の影響はあまり大きくないと考えられる。図 15 に示す 15 時の天気図によると日本列島の東海岸に低気圧が位置していた。また、図 16 に示すように、500 m と 1000 m の後方流跡線は起点高度が 5000 m を超えていたことから判断して、3 月 21 日の高濃度事象は成層圏オゾンの沈降であると判定した。

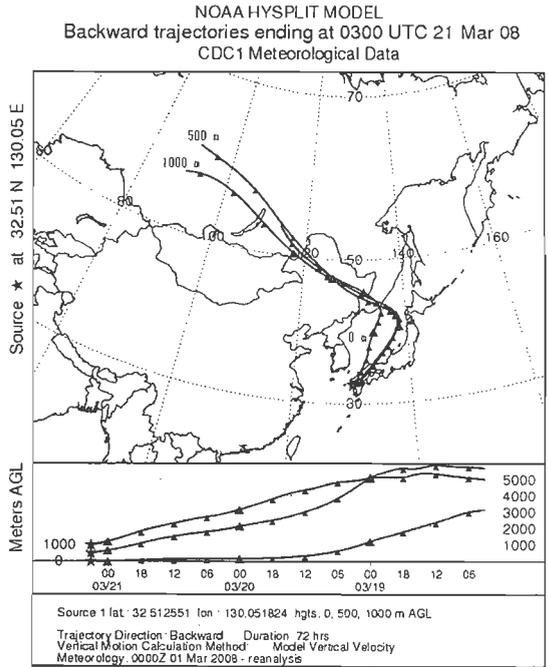


図 16 苓北志岐局からの 72 時間後方流跡線 (2008/3/19 15 JST～2008/3/21 15 JST)

5. おわりに

環境学習のための題材や気象学習を活用してとりくむ探究的課題として熊本における越境大気汚染を教材化するための基礎研究として、2008 年に熊本で観測された光化学オキシダント高濃度事象の要因分類を行なった。得られた結論を以下に示す。

- (1) Ox 濃度の地域的な特徴としては、夏季を除いて苓北志岐局が熊本市内の京町局、錦ヶ丘局よりも高濃度となっている。
- (2) Ox の季節的な特徴としては、熊本では冬から徐々に濃度が上昇し、春季にピークをむかえ、夏季には低濃度で推移している。秋季にも小さなピークがみられる。
- (3) 高濃度事象の要因分類の結果、大陸からの移流が約 43 %、地域での生成が約 21 %、成層圏オゾンの沈降が約 6 %、その他不明が約 30 %であった。熊本県の 2008 年における高濃度 Ox 事象は大陸からの影響を大きく受けていることがわかった。
- (4) 本研究で得られた分類結果の割合は、福岡県における光化学オキシダントの高濃度要因の分類結果 [7] と整合的であることから、本研究の解析方法を用いた教材化の可能性を確かめることができた。

2010 年 5 月より、天草郡苓北町の熊本県富岡ビジターセンターにネットワークカメラを設置して苓北カメ

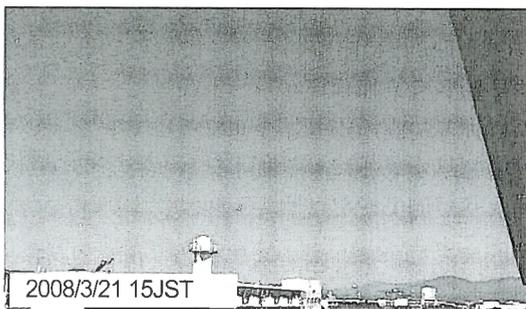


図 14 東町カメラ映像

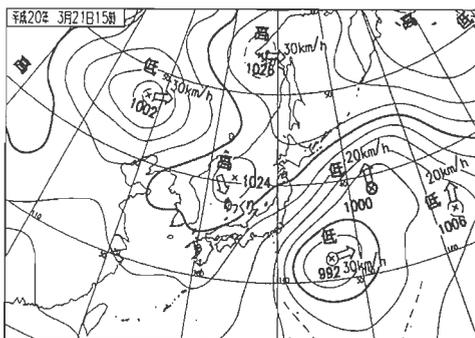


図 15 2008/3/21 15 JST の地上天気図

ラ映像観測を開始した。ライブ映像と1時間に1枚のアーカイブ画像の公開を行っている[14]。今後は、苅北カメラ映像も使用してOx濃度と視程の関係を詳しく検討するとともに、Ox高濃度事象の要因分類の事例を増やしていく。また、本稿で示した高濃度事象の典型例を使った教材化をすすめる予定である。

### 謝辞

本稿執筆にあたり、(財)日本環境衛生センター西日本支局の岩本真二氏より貴重な助言をいただきました。記して感謝いたします。熊本県の大気常時監視測定局の1時間値データをご提供いただきました熊本県環境生活部環境保全課に感謝いたします。苅北カメラの設置について熊本県、苅北町役場、熊本県富岡ビジターセンターに感謝いたします。本研究は文部科学省科学研究補助金若手(B)21700791の助成を受けて行っています。

### 参考文献

- [1] 中央教育審議会, 幼稚園、小学校、中学校、高等学校、及び特別支援学校の学習指導要領等の改善について(答申), 2008.  
[http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/chukyo/chukyo0/toushin/\\_icsFiles/afieldfile/2009/05/12/1216828\\_1.pdf](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo0/toushin/_icsFiles/afieldfile/2009/05/12/1216828_1.pdf)
- [2] 文部科学省, 「小学校学習指導要領解説理科編」, 大日本図書, 105, 2008.
- [3] 文部科学省, 「中学校学習指導要領解説理科編」, 大日本図書, 149, 2008.
- [4] 大原利眞, 鶴野伊津志, 黒川純一, 早崎将光, 清水厚, 2007年5月8,9日に発生した広域的な光化学オゾン汚染—オーバービュー—, 大気環境学会誌第43巻第4号, pp.198-208, 2008.
- [5] 黒川純一, 大原利眞, 早崎将光, 鶴野伊津志, ネスト版RAMS/CMAQ連携モデルによる2007年5月8,9日に発生した広域的な光化学オゾン汚染の解析, 大気環境学会誌第43巻第4号, pp.209-224, 2008.
- [6] 早崎将光, 大原利眞, 黒川純一, 鶴野伊津志, 清水厚, 2007年5月8,9日に発生した広域的な光化学オゾン汚染: 観測データ解析, 大気環境学会誌第43巻第4号, pp.225-237, 2008.
- [7] 岩本真二, 大石興弘, 田上四郎, 力寿雄, 山本重一, 福岡県における光化学オキシダントの高濃度要因の分類, 大気環境学会誌第43巻第3号, pp.173-179, 2008.
- [8] 光化学オキシダント対策検討会(東京都), 光化学オキシダント対策検討会報告, 2005,

<http://www2.kankyo.metro.tokyo.jp/kaizen/keikaku/oxidant/oxhoukoku.pdf>

- [9] 光化学オキシダント・対流圏オゾン検討会, 光化学オキシダント・対流圏オゾン検討会報告書 中間報告, 2007,  
[http://www.env.go.jp/air/osen/pc\\_oxidant/conf/ir/full.pdf](http://www.env.go.jp/air/osen/pc_oxidant/conf/ir/full.pdf)
- [10] 板橋秀一, 弓本桂也, 鶴野伊津志, 大原利眞, 黒川純一, 清水厚, 山本重一, 大石興弘, 岩本真二, 2007年春季に発生した東アジアスケールの広域的越境汚染の化学輸送モデルCMAQによる解析, 大気環境学会誌第44巻第4号, pp.175-185, 2009.
- [11] 気象庁: <http://www.jma.go.jp/>
- [12] ARL READY: <http://ready.arl.noaa.gov/>
- [13] ListCam: [http://www.clavis.ne.jp/~listcam/index\\_j.ssi](http://www.clavis.ne.jp/~listcam/index_j.ssi)
- [14] Environmental Science & Education: <http://es.educ.kumamoto-u.ac.jp/ese/>
- ※URLは全て2010年9月24日確認