

ノート

広島県の瀬戸内沿岸域における夏季晴天時の光化学 オキシダント日最高濃度と後方流跡線との関連性

瀬戸 信也, 宇津 正樹, 大原 真由美, 砂田 和博, 日浦 盛夫

Relationship between daily maximum 1-hour mean oxidant concentration and air mass back-trajectory pattern on summer fine days at the coastal area along the Seto Inland Sea in Hiroshima Prefecture

SINYA SETO, MASAKI UZU, MAYUMI OOHARA, KAZUHIRO SUNADA and MORIO HIURA

(Received Oct. 15, 2007)

Daily maximum 1-hour mean oxidant concentrations were discussed in terms of surface meteorological conditions and patterns of 1000 m height air mass back- trajectory arriving at the coastal area along the Seto Inland Sea on summer fine days (solar radiation $\geq 20 \text{ MJ m}^{-2} \text{ day}^{-1}$) from 2004 to 2006. Most of high oxidant episodes ($\geq 120 \text{ ppb}$) were associated with the land and sea breeze circulation and air mass trajectories stagnating in the Japanese Archipelago or those from the Korean Peninsula. In contrast, low oxidant concentrations ($< 80 \text{ ppb}$) occurred under advection of maritime air masses from the northwestern Pacific Ocean with low background ozone.

Key words: Oxidant, meteorological condition, trajectory analysis, Seto Inland Sea

はじめに

最近, 光化学オキシダント (Ox) の高濃度が社会問題として注目されている。たとえば日本ではOx濃度が増加傾向にあり, 全国平均で1.2% yr⁻¹増加していると見積もられている[1]。また日本の対流圏オゾン (O₃) 濃度が1969~1990年の期間に境界層内で約2% yr⁻¹増加したとの指摘もある[2]。

広島県ではOx注意報 (Ox濃度が120 ppb以上を記録したとき気象条件を考慮して発令) が2003~2005年の3年間に43回発令されている[3-5]が, その67%が6~8月の期間に集中している。一方, この期間では天気がよい日でもOx濃度が低い場合も多い。しかしOxの高濃度と低濃度をもたらす要因はこれまで明らかではなかった。

本報では広島県における夏季の晴天日を対象にして, Ox濃度と地上の気象条件および上層の流跡線との関連性について検討した。Ox高濃度は, 地上付近で海陸風が吹き, かつ上層の空気塊が日本国内で停滞する, または朝鮮半島から飛来するパターンの日に出現していることがわかった。

データと解析方法

広島県の瀬戸内沿岸域に配置された20か所の大気汚染常時監視局のOx濃度を解析の対象とした (Fig. 1)。この地域はOx注意報の発令地域であり, 石油化学コンビナートや製鉄所などが立地し, 幹線道路が走っている。解析期間は2004~2006年の夏季 (梅雨明け日~8月31日) とした。

すべての監視局の昼間 (5~20時) のOx 1時間平均濃度の日最高値を広島県の最高値 (Ox日最高値) とみなした。Ox日最高値が120 ppb以上の日を「Ox高濃度日」, 80 ppb未満の日を「Ox低濃度日」と定義した。

Ox生成に関与する地上気象要素として, 1日の積算日射量 (日射日総量), 日中 (8~17時) の平均風速および最高気温を取り上げた。Ox濃度, 日射量および風速については測定時間が全体の8割未満の日は解析から除いた。日射日総量が20 MJ m⁻² day⁻¹以上の日を「晴天日」と定義し, 本報では晴天日のみを解析の対象とした。

上層気象は後方流跡線を用いて解析した。竹原市の上空1000 m高度に15時に到達する空気塊を3日間追跡した。流跡線モデルは米国NOAAのHYSPLIT4[6, 7]を用いた。

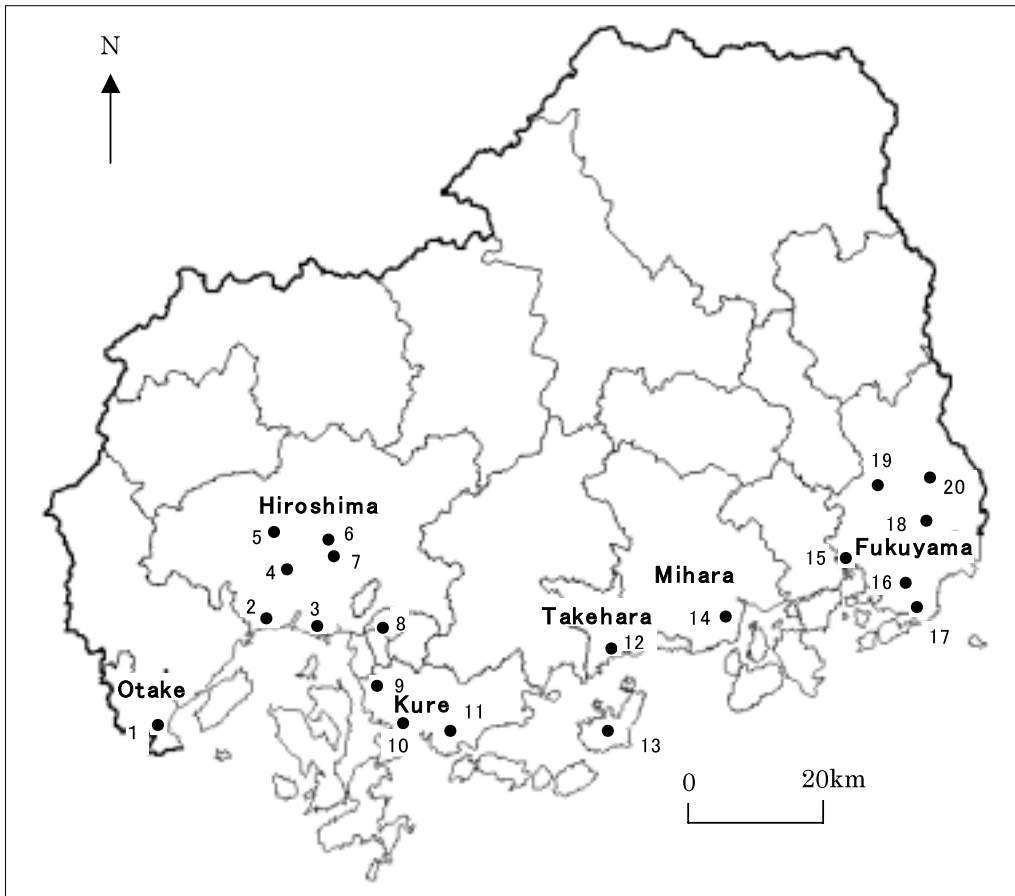


Fig. 1 Map showing the air pollution monitoring stations in Hiroshima Prefecture used in the present study.

Station code 1: Yumi Park, 2: Inokuchi Primary School, 3: Hiroshima-minami Primary School, 4: Misasa Primary School, 5: Tomo Primary School, 6: Asa-mimami Ward Office, 7: Fikugi Primary School, 8: Kaita High School, 9: Meiritsu Primary School, 10: Miyahara Primary School, 11: Shiratake Primary School, 12: Takehara High School, 13: Osaki-nakano Primary School, 14: Mihara-miyaoki Park, 15: Matsunaga Branch Office, 16: Fukuyama-minami Primary School, 17: Mukaigaoka Middle School, 18: Baien Middle School, 19: Ekiya-higashi Primary School, 20: Kannabe Sanitation Center.

結果と考察

1. Ox日最高値と地上気象との関係

Ox日最高値は解析期間中に132例あり、そのうち87例が晴天日であった。晴天日のOx日最高値の度数分布をFig. 2に示す。Ox高濃度日が25% (22/87)、Ox低濃度日が29% (25/87) を占めた。なお解析期間をとおして晴天日でない場合のOx高濃度日は1例のみだった。この結果から、Ox高濃度日とOx低濃度日との間で前駆物質の排出条件に違いがないと仮定すると、Ox高濃度は日射量以外の気象条件にも影響を受けることが示唆される。

地上気象の統計量をOx高濃度日とOx低濃度日に区分してTable 1に示す。地上気象は広島県の沿岸域のほぼ中央に位置する竹原市（竹原高校）のデータで代表させた。両ケース間の平均値を比べると、日中の最高気温と日射日総量は比率が1.0前後でありほとんど違いはないが、日中の平均風速の比率はOx高濃度日がOx低濃度日の約7割と小さかった。

瀬戸内沿岸域では晴天日には海陸風が卓越する[8]の

で、Ox高濃度日とOx低濃度日の海陸風の出現状況について調べた。竹原高校における海陸風出現の有無を風向・風速の日変化に基づき統計的に判定する方法[8]を適用すると、海陸風はOx高濃度日のすべての日に吹いており、Ox低濃度の日にも96% (24/25) の日に吹いていた。したがって、海陸風の有無のみではOx濃度の変動は説明できない。

2. Ox日最高値と後方流跡線との関係

晴天日のOx高濃度日およびOx低濃度日を対象にして後方流跡線解析を行った (Fig. 3)。Ox高濃度日には空気塊が日本国内（日本海および北緯25° 以北の太平洋を含む）で停滞するパターンが15例 (68%) と大半を占め、このうち西日本で停滞するケースが5例あった。朝鮮半島から飛来するパターンが6例、北緯25° 以南の太平洋から飛来するパターンが1例あった。この事実から、Ox高濃度のほとんどは対象地域の周辺部（日本国内および朝鮮半島）で空気塊が停滞したときに出現することがわかる。広島市において上層風が弱い (< 5 m s⁻¹) 条件

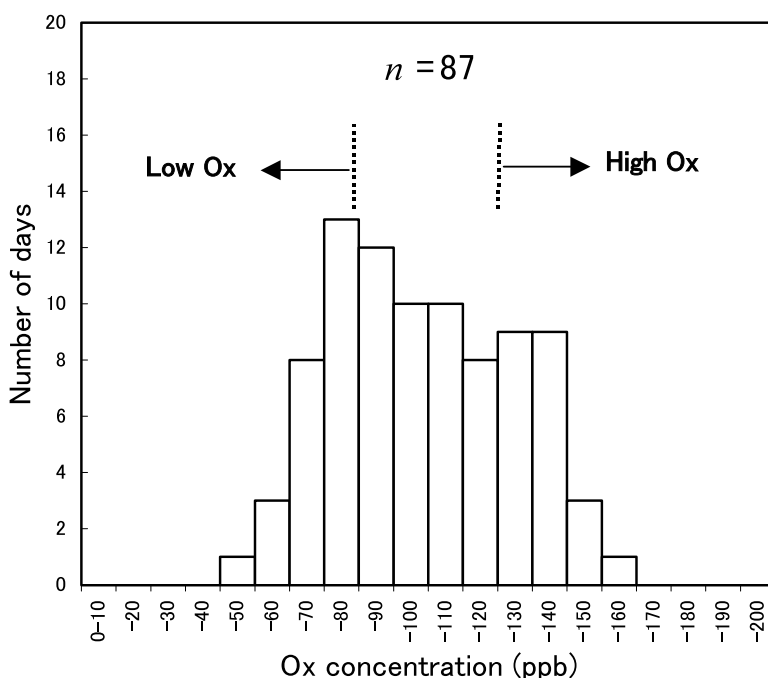


Fig. 2 Histogram of daily maximum 1-hour mean Ox concentrations in Hiroshima Prefecture on summer fine days from 2004 to 2006.

Table 1. Mean and standard deviation of daytime mean wind velocity and maximum temperature, and daily total solar radiation for high Ox and low Ox cases on summer fine days during 2004-2006 in Hiroshima Prefecture.

| | <i>n</i> | Wind velocity ^{d)} (m s ⁻¹) | Maximum temperature ^{d)} (°C) | Solar radiation ^{d)} (MJ m ⁻² Day ⁻¹) |
|-----------------------|----------|---|---|--|
| High Ox ^{a)} | 22 | 2.4 ± 0.3 | 33.1 ± 1.3 | 23.9 ± 1.7 |
| Low Ox ^{b)} | 25 | 3.3 ± 0.6 | 31.8 ± 0.9 | 24.6 ± 2.1 |
| Ratio ^{c)} | | 0.72 | 1.04 | 0.95 |

a) Daily maximum Ox concentration ≥ 120 ppb

b) Daily maximum Ox concentration < 80 ppb

c) (Mean of variables for high Ox) / (Mean of variables for low Ox)

d) Measurements at the Takehara High School station

のもとでは海陸風が吹くと100~120 ppbのOx濃度が出現すること[9], および大竹市において地上付近に安定層が形成されると, 地上から海風層の高度まで100~120 ppbのOx濃度が出現すること[10]が報告されている. これらの報告は, 海陸風循環が形成され, かつ上層風が弱く大気が安定している日には, 前駆物質が地域内に停滞しやすく上層にも拡散しにくいので, Oxの生成が促進されることを示している. 高濃度Oxは, 地域内の発生源の寄与とその周辺部からのOxの移流が重合して発生したものとする. とりわけ空気塊が西日本に停滞する条件のもとでは地域内および近隣地域の発生源の寄与が相対的に大きくなると推察する.

一方, Ox低濃度日の流跡線の88% (22/25) は, 空気塊が北太平洋から北上するパターンであり, その他は空気塊が西日本から飛来するパターンが2例, 日本海から飛来するパターンが1例あった. 北太平洋から北上する空気塊の進路を詳しくみると, 日本の南方海上を北~北

西方向に進み, 日本付近で北東方向に進路を変えるケースが多い. この進路は夏季に発達する北太平洋高気圧 (小笠原高気圧) に関連しており, 850 hPa面での平均的な風向・風速の地理的分布[11]によく対応している. 北太平洋における海洋性気団のO₃濃度はきわめて低く, たとえば小笠原と沖縄では13~14 ppb[12]と報告されている. Ox低濃度日には低いバックグランドO₃濃度を持つ海洋性気団が瀬戸内沿岸域まで進入し, この地域のOx濃度を低下させたものと推察する. また, この気団の進入が1節で述べたOx低濃度日の日中の風速 (つまり海風の風速) を強化させた可能性が高い.

ま と め

広島県の瀬戸内沿岸域における夏季の晴天日 (日射量 ≥ 20 MJ m⁻² day⁻¹) を対象として, 日最高Ox濃度と地上の気象条件および上層の流跡線との関連性について検

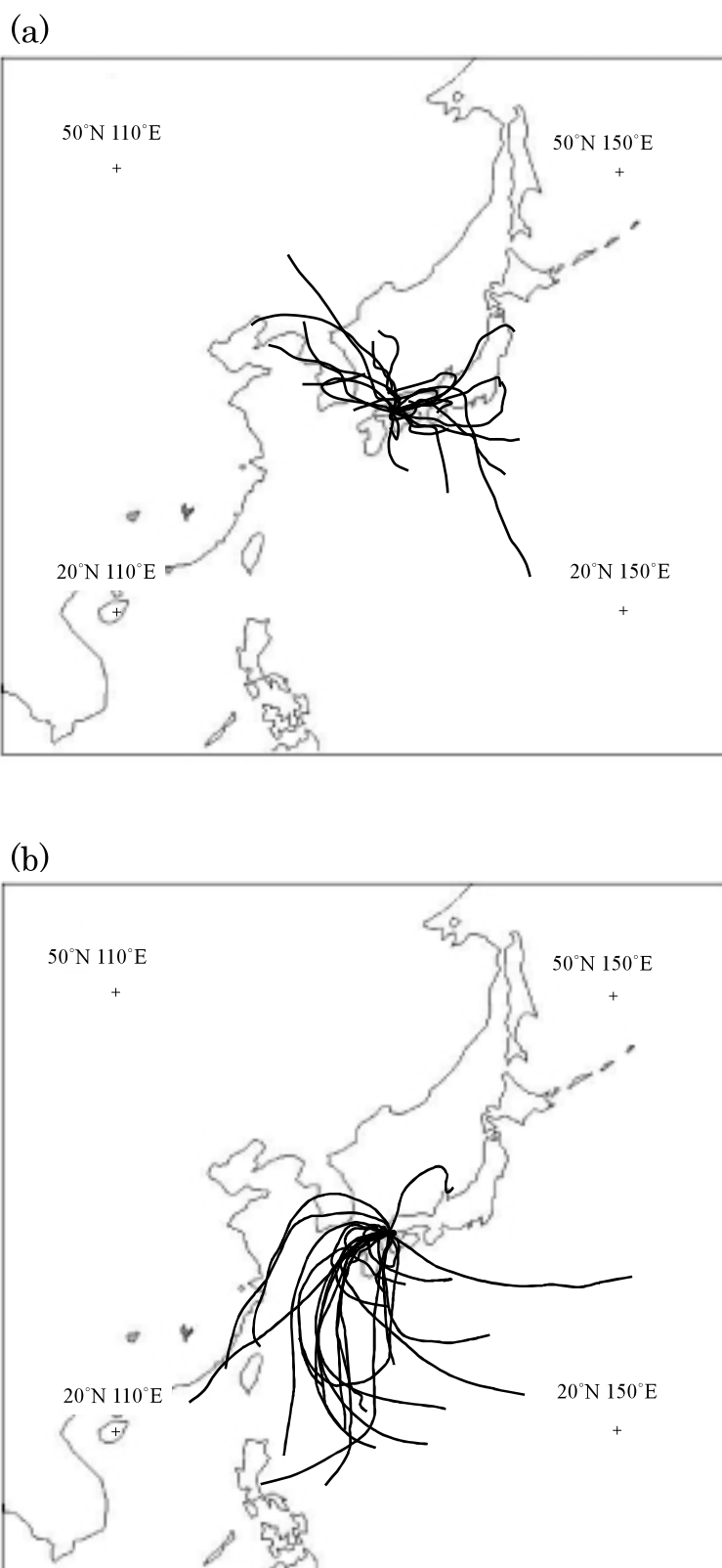


Fig. 3 Three-day back-trajectories arriving at Takehara at 15 JST for (a) high Ox episodes, and (b) low Ox concentrations, on summer fine days from 2004 to 2006. A start height of a back-trajectory is an altitude of 1000 m.

討した. 120 ppb以上の高濃度は, 地上付近で海陸風が吹き, かつ上層の空気塊が日本国内で停滞する, または朝鮮半島から飛来するパターンのときに出現し, 80 ppb未満の低濃度は北太平洋の海洋性気団が侵入したときに出現することがわかった.

謝 辞

流跡線モデルは米国NOAAのHYSPLIT4を用いました. ここに記して謝意を表します.

文 献

- [1] 大原利真, 坂田智之: 光化学オキシダントの全国的な経年変動に関する解析, 大気環境学会誌, 38, 47-54, 2003.
- [2] Akimoto, H., Nakane, H. and Matsumoto, Y.: The chemistry of oxidant generation: Tropospheric ozone increase in Japan. In: The Chemistry of the Atmosphere: Its Impact on Global Change, ed. Calvert J. G., Blackwell Scientific Publication, 1994, pp. 261-273.
- [3] 広島県: 平成16 (2004) 年版環境白書, 2004, p. 196.
- [4] 広島県: 平成17 (2005) 年版環境白書, 2005, p. 208.
- [5] 広島県: 平成18 (2006) 年版環境白書, 2006, p. 210.
- [6] Draxler, R. R. and Rolph, G. D.: HYSPLIT (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) Model access via NOAA ARL READY Website (<http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html>), NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, MD, 2003.
- [7] Rolph, G. D.: Real-time Environmental Applications and Display sYstem (READY) Website (<http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html>), NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, MD, 2003.
- [8] 大原真由美, 瀬戸信也, 宮田賢二, 渡部浩章 (宮田賢二編): 広島県 of 海陸風, 溪水社, 広島, 1982, 395 pp.
- [9] 瀬戸信也, 大原真由美, 宮田賢二: 広島地域における光化学汚染と海陸風, 広島県環境センター研究報告, No. 5, 1-10, 1983.
- [10] 瀬戸信也: 瀬戸内沿岸域におけるオキシダント濃度の鉛直分布, 天気, 39, 347-354, 1992.
- [11] Matsumoto, J.: The seasonal changes in Asian and Australian monsoon regions, Journal of the Meteorological Society of Japan, 70, 257-273, 1992.
- [12] Pochanart, P., Akimoto, H., Kinjo, Y. and Tanimoto, H.: Surface ozone at four remote island sites and the preliminary assessment of the exceedances of its critical level in Japan, Atmospheric Environment, 36, 4235-4250, 2002.