

# オキシダントの高濃度汚染予測に関する研究 (第三報)

## — 低層ゾンデ結果との関係について —

Studies on the Prediction of High Level Oxidants (III)  
On Some Relations between Oxidant Concentration and Vertical  
Distribution of Air Temperature Measured by Low Level Radiosonde

山本 務 三好健治 森下玲子  
Tsutomu YAMAMOTO Kenji MIYOSHI Reiko MORISHITA

### はじめに

大気汚染が発生しやすい気象条件の一つに大気の安定度があげられるが、本県公害課では、オキシダント(以下Ox)の高濃度汚染を予測する一手法として、午前9時に低層ゾンデを飛揚して上空の気温を観測し、大気の安定度等を算出している。

今回は、これらの低層ゾンデ観測から得られた気温の鉛直分布等の資料を用いてOx濃度との関係を調べた。その結果、若干の知見が得られたので報告する。

### 解析方法

昭和53年、54年の6月～9月間に坂出保健所において午前9時に観測した低層ゾンデのデータ105例を基にして、その中からポテンシャル日(Oxが高濃度になる可能性のある日)48例を選び2に掲げる解析項目に従ってOx高濃度予測の解析を行った。

なお、48例の選定理由は次章において説明する。

#### 1. 解析資料

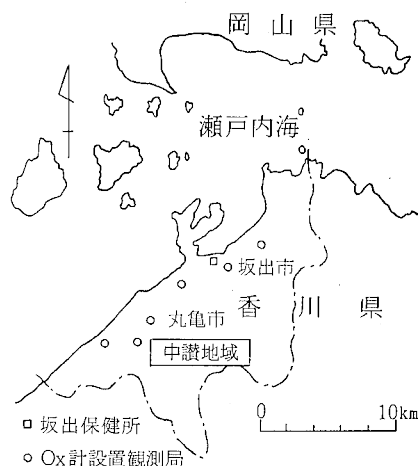
Ox予測解析に用いる資料を次に掲げる。

##### 1) 低層ゾンデ、パイボール

昭和53年、54年の6月～9月間に香川県坂出保健所で午前9時に観測した資料のうち、低層ゾンデ(JWA-76T)については100m毎高度2,000mまでの気温を、パイボール(単経緯儀法、100m/40sの上昇率)については100m毎高度1,500mまでの風向・風速を用いた。

##### 2) Ox日最高濃度、地上湿度等

Ox日最高濃度(以下Oxmax)については、中讃地域で常時監視している6観測局(DKK社製GX-6、2%中性KI法)のうちで日最高濃度を、地上湿度については、同保健所屋上に設置されている気象観測装置(小笠原計器製A-157D)での測定値を、地上日最高気温については、高松地方気象台での測定値を用いた。



#### 2. 解析項目

大気の安定度と関連があると思われる以下の項目について解析を行った。

1) 高度hにおける気温  $Th$  ( $^{\circ}C$ ) ( $h=500, 1,000, 1,500$ )

2) 高度h, h'間の気温差  $\Delta Th-h'$  ( $^{\circ}C$ ) ( $h-h'=0-500, 0-1,000, 0-1,500, 500-1,000, 500-1,500, 1,000-1,500$ )

3) 最大混合層高度 MMD (m)

低層ゾンデの状態曲線と地上の日最高気温(実際の予測にあつては地上の日最高予想気温を用いる)を通る乾燥断熱減率線( $Td=0.98^{\circ}C/100m$ )との交点の高度で表される。

4) 換気指数 VI ( $m/s$ )

今回は次の3種類を用いた。

イ)  $VI_i (=MD_i \times \bar{V}_i)$

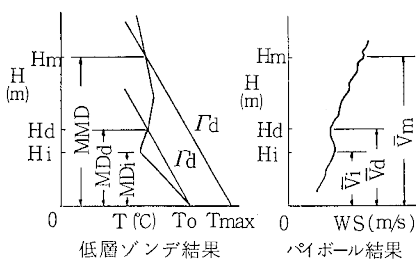
ロ)  $VI_d (=MMD \times \bar{V}_d)$

ハ)  $VI_m (=MMD \times \bar{V}_m)$

算出方法は、低層ゾンデから得られる混合層高度MDと、その時に観測したパイボールから得られるMD層内の平均風速 $\bar{V}$ の積、すなわち、 $VI=MD \times \bar{V}$ で表され

る。

なお、MDが存在しなかった時は $V I = 0$ とし、MDが1,600 m以上になった時の $\bar{V}$ は高度1,500 mまでの平均風速を用いた。



VIの算出方法

MDi : 層厚100 m以上の最も低い逆転(等温)層の高度

MDd : 低層ゾンデの状態曲線と地上気温 $T_o$ を通る乾燥断熱減率線との交点の高度

MMD : 3の項で説明

$\bar{V}_i$  ( $\bar{V}_d$ ,  $\bar{V}_m$ ) : 高度100 mからMDi (MDd, MMD)までの層内の100 m毎の風速の平均

5) 大気安定度指数  $Sh$  ( $^{\circ}C/100m$ )  
100 m毎高度1,500 mまで算出する。

$$Sh = \frac{\Delta Th}{\Delta Z} + \Gamma_d, \quad \text{ただし, } \frac{\Delta Th}{\Delta Z} = Th_{+100} - Th$$

6) 静力学的大気安定度指数  $S$  ( $^{\circ}C/100m$ )<sup>12)</sup>

地上の空気塊を水蒸気の凝結を考慮に入れて静力学的に高度1,500 mまで上昇させた時の気温減率を $\Gamma^*$ 、低層ゾンデから得られる平均気温減率を $\Gamma_r$ とする。

$$S = \Gamma^* - \Gamma_r, \quad \text{ただし,}$$

$$\Gamma^* = \frac{Hc \times \Gamma_d + (1,500 - Hc) \times \Gamma_w}{15}$$

$$\Gamma_r = \frac{T_o - T_{1500}}{15}$$

なお、凝結高度 $Hc$ はHenningの公式により $Hc = 125 \times (T_o - T_d)$ 、湿潤断熱減率 $\Gamma_w$ は $\Gamma_w = 0.64 - 0.0135 T_d + 0.00015 T_d^2$ で表し、地上露点温度 $T_d$ は $T_o$ と地上湿度から求めた。

## 結果および考察

調査期間中の105例について $Ox_{max}$ との関係を前章の解析項目に従って種々検討を試みたが、得られた結果が煩雑になり、 $Ox_{max}$ が高濃度(100ppb以上)になる時の因子をみつけることは困難であった。そこで、今回は、 $Ox_{max}$ が高濃度にならない条件としてノンポテンシャル日(注-1, 第一報<sup>3)</sup>で用いた $Ox$ 対象外日に改

良を加えたもの)を定め、105例からこの該当日を除外して(表1, 表2)解析を行った。その結果、48例が $Ox_{max}$ が高濃度になる可能性のある日、すなわち、ポテンシャル日となった。

表-1 低層ゾンデ観測日数  $n=105$  (48)

年	6月	7月	8月	9月	計
53年	15 (7)	21 (16)	20 (9)	10 (3)	66 (35)
54年	4 (2)	7 (4)	15 (4)	13 (3)	39 (13)
計	19 (9)	28 (20)	35 (13)	23 (6)	105 (48)

\*カッコ書きはノンポテンシャルを除外した日数

表-2  $Ox$ 日最高濃度の分類  $n=105$  (48)

$Ox_{max}$ (ppb)	観測日数
$100 \leq Ox_{max}$	11 (11)
$80 \leq Ox_{max} \leq 99$	19 (15)
$Ox_{max} \leq 79$	75 (22)
計	105 (48)

\*カッコ書きはノンポテンシャルを除外した日数

(注-1) ノンポテンシャル日とは次の項目のうちいずれか一つ以上を満たす日とする。

イ) 午前9時のパイボール結果の高度1,500 mまでの平均風速が4 m/s以上のとき。

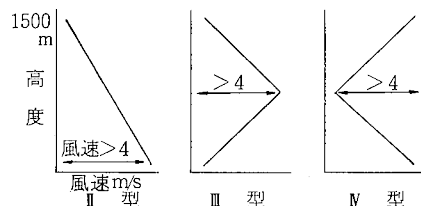
ロ) 同結果の風速の鉛直プロファイルの型が、II, III, IV型のいずれかに該当するとき。

ハ) 同結果が全層にわたり卓越風の支配するとき。

ニ) 午前9時までに地上風が陸風から海風へ交替しないとき。

ホ) 西日本が台風(熱低)圏内にあるとき。

ヘ) 上空気象観測後に降雨があるとき。



風速の鉛直プロファイルの型

### 1. $Th$ との比較

一般に、二次汚染物質である $Ox$ は上空で光化学反応を起し生成されると考えられている<sup>4)5)6)</sup>ので、 $h = 500, 1,000, 1,500$ における気温と $Ox_{max}$ との関係について調べた。まず、 $Ox_{max}$ と各 $Th$ との関係をグラフ化し、 $Ox_{max}$ の高濃度が予測できるような $Th$ の範囲を求めたのち各ランクにおける $Ox_{max}$ の出現数(率)を求めた(表3)。なお、表中の $Ox_{max}$ 出現数とは、 $Ox_{max}$ の各ランクに含まれる日数(これを分母 $a$ とする)のうちで、各 $Th$ の範囲に含まれる日数(これを分子 $b$ とする)であり、同出現率とはその比率( $b/a$ )である。

表-3 Th との比較

Th の 範囲(°C)	ランク別の Oxmax出現数(率)			図番号
	100 ≤ Oxmax	80 ≤ Oxmax ≤ 99	Oxmax ≤ 79	
20 ≤ T <sub>300</sub> ≤ 26	10/11 (91%)	8/15 (53%)	18/22 (82%)	略
20 ≤ T <sub>1000</sub> ≤ 23	9/11 (82)	4/15 (27)	13/22 (59)	図-1
16 ≤ T <sub>1500</sub> ≤ 22	10/11 (91)	5/14 (36)	15/22 (68)	略

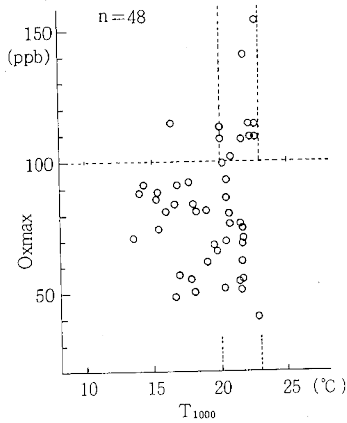


図-1 T<sub>1000</sub> との比較

表3, 図1から, T<sub>1000</sub>が気温の範囲も小さくOx予測に有効であると思われた。しかし, この範囲内にも低濃度日がかなり含まれているところから, 上空の気温のみでOxの高濃度を予測することは難しい。

2. ΔTh-h' との比較

大気安定を知る一方法として各高度における気温差ΔTh-h'があげられる。今回は高度差として, h-h'=0-500, 0-1000, 0-1500, 500-1000, 500-1500, 1000-1500を用いて, 前項と同様な方法で解析を行い表4を得た。

表-4. ΔTh-h' との比較

ΔTh-h' の 範囲 (°C)	ランク の Oxmax出現数(率)			図番号
	100 ≤ Oxmax	80 ≤ Oxmax ≤ 99	Oxmax ≤ 79	
2 ≤ ΔT <sub>0-500</sub> ≤ 6	11/11 (100%)	14/15 (93%)	18/22 (82%)	略
5 ≤ ΔT <sub>0-1000</sub> ≤ 9	11/11 (100)	13/15 (87)	20/22 (91)	〃
7 ≤ ΔT <sub>0-1500</sub> ≤ 10	9/11 (82)	3/14 (21)	6/22 (27)	図-2
1 ≤ ΔT <sub>500-1000</sub> ≤ 3	11/11 (100)	11/15 (73)	17/22 (77)	略
3 ≤ ΔT <sub>500-1500</sub> ≤ 6	10/11 (91)	12/14 (86)	17/22 (77)	〃
1 ≤ ΔT <sub>1000-1500</sub> ≤ 4	9/11 (82)	12/14 (86)	20/22 (91)	〃

表4から, ΔT<sub>0-1500</sub>の時がOx予測するのに最も良い結果となった。これについては, 地上に排出された大気汚染物質が地上のOx濃度に影響を与える最大高度が

一般に1,500 mといわれていることと関連があると思われる。

次に, ΔT<sub>0-1500</sub>が小さければ大気の安定は強くなり, 大気汚染が進行すると考えられるが, 図2からわかるように, Oxが高濃度になる時のΔT<sub>0-1500</sub>の範囲は比較的限制られていることがわかった。

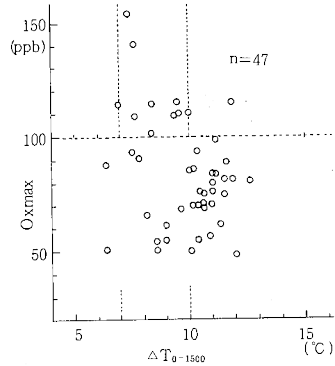


図-2 ΔT<sub>0-1500</sub> との比較

3. MMD との比較

MMDとは, 他の条件を一定にすれば一日のうちで大気汚染物質が最も薄められる高度を表している。従って, MMDが低いほど大気の上下の拡散がおさえられ, 汚染物質が停滞すると考えられているところから, Oxmaxとの関係を図3に示した。

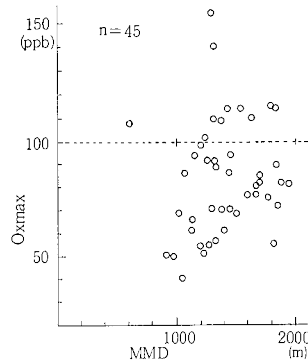


図-3 MMD との比較

この図から, MMDとOxmaxとの関係について, 有意な条件を導き出すことはできなかった。MMDの算出方法については, 種々問題があり, MMDは算出に必要なファクターの少しの変化でも大きく変化する可能性があり不安定な値であることも一因と思われる。

4. VI との比較

VIとは, ある領域内における水平方向の大気汚染物質の拡散の程度を表すものである。VIについても前項のMMD同様かなり不安定な要素を含んでいるが, 図4

に  $Ox_{max}$  と  $V_{Ii}$ ,  $V_{Id}$  との関係を描いてみると比較的時間とまりのある結果が得られた。

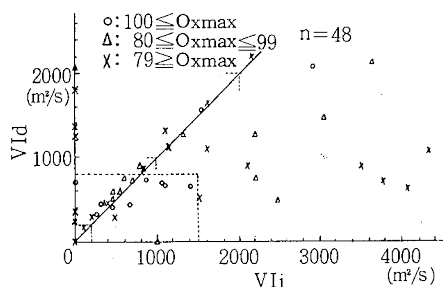


図-4  $V_{Ii}$ ,  $V_{Id}$  との比較

すなわち、 $Ox_{max}$  が高濃度になる時の  $V_{Ii}$  と  $V_{Id}$  とはよく似ておりその値も小さい。しかし、 $V_I$  の値が 200 以下になると  $Ox_{max}$  は逆に低濃度になってしまうが、これについては高度 100~200m 付近に出現する MD (例えば接地性の逆転・等温層) は  $Ox$  予測と直接結びつかないと考えるべきであろう<sup>7)</sup>。次に、 $V_I$  の算出に用いられる MD 層内の風向については一切触れられていないが、今後検討されるべき点であろう。

$V_{Im}$  については、今回初めて解析を試みたが、MMD が不安定な要素を含んでいること、さらに  $\bar{V}_m$  についても午前 9 時のデータを用いたこともあり、 $Ox$  高濃度予測の効果的条件を見出すことはできなかった (図 5)。

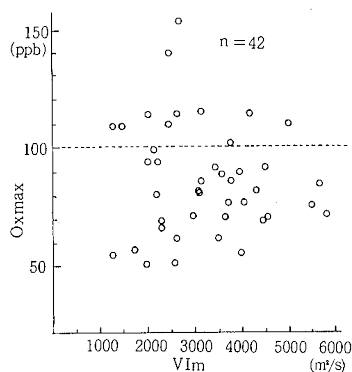


図-5  $V_{Im}$  との比較

### 5. $Sh$ との比較

ここで用いる  $Sh$  とは、各高度 (100m 毎) における気温の減衰率を表したもので、汚染物質の上下の拡散の程度を示すものである。佐藤の分類方法<sup>8)</sup>を参考に  $Sh$  を次のとおり分類した。

- |                        |                |
|------------------------|----------------|
| $1.0 \leq Sh$          | 強い安定 (逆転または等温) |
| $0.6 \leq Sh \leq 0.9$ | かなり安定          |
| $0.3 \leq Sh \leq 0.5$ | やや安定           |
| $Sh \leq 0.2$          | 中立または不安定       |

図 6 に解析結果の一例を示した。

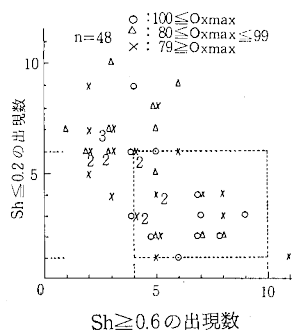


図-6  $Sh$  との比較

これによると、一般にいわれているように安定層が多く、中立または不安定層が少ない時に  $Ox$  の高濃度が出現している。また、安定層が出現する高度により安定層に重みをつけて解析する方法もあるところから若干試みたが、特徴的な結論は得られなかった。

### 6. $S$ との比較

前項の  $Sh$  は大気が乾燥していると仮定して算出したが、これは大気中の水蒸気の凝結を考慮に入れて算出したものであり、より現実的である。図 7 に解析結果の一例を  $T_o$  と関連づけて示した。

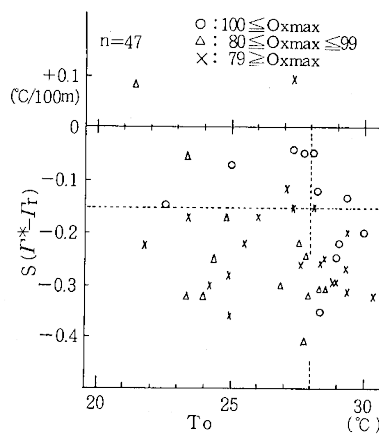


図-7  $S$ ,  $T_o$  との比較

その結果、 $T_o$  が  $28^\circ\text{C}$  以下であれば  $Ox$  の予想にかなりの信頼性が得られた。 $28^\circ\text{C}$  以上であれば低濃度との分離が困難になってくるが、この原因の一つに 6 月~9 月のデータを区別しないで用いたことが考えられる。

以上、午前 9 時頃までに入手できる資料を基に  $Ox_{max}$  との関係について検討したが、午前 9 時での大気の状態が午後になれば、メソスケール程度での高気圧セルの発生・通過<sup>9)</sup>、その他のじょう乱により大きく変化すること

がある。また、O<sub>x</sub>の高濃度の発生がいわゆるピンポイント的に生じることがある。など、気象状況の変化が予測をさらに難しくさせている。

## ま と め

今回の解析結果から得られたことは次のとおりである。

### 1. Th, ΔTh-h'について

$20 \leq T_{1000} \leq 23$ ,  $7 \leq \Delta T_{0-1500} \leq 10$ の時にO<sub>x</sub>が高濃度の傾向を示す。

### 2. MMD, VI<sub>m</sub>について

O<sub>x</sub>の高濃度予測には有効な条件を見出すことはできなかった。

### 3. VI<sub>i</sub>, VI<sub>d</sub>について

$200 \leq VI_i \leq 1500$ ,  $200 \leq VI_d \leq 800$ の時にO<sub>x</sub>が高濃度の傾向を示す。今回の解析の中で最も良い結果が得られたが、VIの算出にありMD層内の $\bar{V}$ が必要でありパイボールの同時観測が不可欠である。

### 4. Shについて

$4 \leq (Sh \geq 0.6 \text{の安定層の出現数}) \leq 10$

$1 \leq (Sh \leq 0.2 \text{の不安定層の出現数}) \leq 6$ の時にO<sub>x</sub>が高濃度の傾向を示す。

### 5. Sについて

$-0.15 \leq S \leq 0$ の時にO<sub>x</sub>が高濃度の傾向を示す。

これらの解析結果から、O<sub>x</sub>高濃度予測のための十分な結論は得られなかったが、ポテンシャル日の中からかなりの数の低濃度日を分離することができた。

今後、O<sub>x</sub>予測にあたっては、当日がノンポテンシャル日かどうかを判定するとともに、低層ゾンの観測結果を加味することにより、予測精度をさらに向上させることが期待できる。

なお、さらに予測精度を向上させるためには、①安定層(逆転・等温層)の成因(沈降性、前線性、移流性、接地性)別に解析、②解析項目の改善(例えば、VI算出についてはMD層内の風向も考慮する)、③新しい解析項目(例えば、リチャードソン数等)の検討等があげられるが、これらについては今後の課題として検討していきたい。

終わりに、今回の解析にあたり、資料を提供していただいた県公害課に感謝いたします。

## 文 献

- 1) 太田盛三：広島県オキシダント大気汚染気象予報のための統計的基礎調査について、研究事報，**31**, 11-12, 365 (1980)
- 2) 倉敷市：気象年報，p111 (1978)
- 3) 山本務・他：オキシダントの高濃度汚染予測に関する研究(第一報)，香川県公害研究センター所報，**3**，59 (1978)
- 4) 若松伸司：接地境界層内部でのオゾンの鉛直分布，天気，**22**, 9, 514 (1975)
- 5) 小路正弘：オキシダントとSO<sub>2</sub>ピークが近接する現象について，天気，**22**, 5, 229 (1975)
- 6) 新谷光三：光化学大気汚染の解析，天気，**26**, 9, 531 (1979)
- 7) 日本気象協会：大気汚染気象予報指針，p2-31 (1976)
- 8) 大阪管区気象台：大阪平野の局地気象と大気汚染気象予報，p 25 (1978)
- 9) 国保政行・他：海陸風に対する一般風の効果について，天気，**22**, 10, 565 (1975)