

水島臨海工業地帯における大気汚染 と気象条件について

第 2 報

オートレコーダーで実測された亜硫酸ガス
濃度と理論拡散計算値との関係について

岡山大学医学部公衆衛生学教室 (指導 緒方正名教授)

井 上 堅 太 郎

[昭和47年8月25日受稿]

緒 言

第1報¹⁾において、昭和42、43年度の倉敷市水島臨海工業地帯の後背地の亜硫酸ガス汚染について1)海風(S~SW風)、2~4 m/secの条件で汚染が著しいこと、2)汚染域は海風の安定度と重要な関係があり、不安定な海風では、5 km程度離れた地域、安定な海風では、工業地帯から10 km程度離れた地域が汚染されることを指摘した。

今回は安定度ごとに亜硫酸ガスの理論拡散計算を行ない、実測された亜硫酸ガス汚染を、理論拡散計算でどの程度説明できるかを調べたので、その成果を報告する。

調 査 方 法

昭和43年4~6月の時点で稼動していた主要な煙源15本について、その亜硫酸ガスの排出条件をもとに理論拡散計算を行ない、昭和43年当時のオートレコーダーで記録された亜硫酸ガスの高濃度の解析を行なった。

1 有効煙突高

各煙源の有効煙突高の算出には Holland 式²⁾

$$H_e = H_0 + \Delta H \quad \dots(1)$$

$$\Delta H = \frac{1}{u} (1.5 W_0 d + 4 \times 10^{-5} Q_E)$$

H_e : 有効煙突高さ (m)

H_0 : 煙突の実高さ (m)

ΔH : 煙の上昇高さ (m)

U : 風速 (m/sec)

W_0 : 排ガスの排出速度 (m/sec)

d : 煙突の頂上径 (m)

Q_E : 排ガスのエネルギー (cal/sec)

により補正した高さを使用した。

2 拡散式

正規型の拡散式

$$C = \frac{Q \times 10^6}{\pi \sigma_y \sigma_z u} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \exp\left(-\frac{H_e^2}{2\sigma_z^2}\right) \dots(2)$$

C : 汚染質の地上濃度 (ppm)

Q : 汚染質の排出量 (m³/sec)

σ_y : 煙の横方向の拡がり (m)

σ_z : 煙の縦方向の拡がり (m)

u : 風速 (m/sec)

y : 風下主軸に直角な水平

距離 (m)

H_e : (1)式により算出した有

効煙突高さ (m)

を使用しこの式の σ_y , σ_z を Pasquill³⁾によるものを使用して計算した。なお σ_y に対する時間補正は、行なわないで Pasquill³⁾による σ_y をそのまま1時間値とみなした。

3 気象条件と重合の方法

気象条件としては、風速 2 m/sec および 4 m/sec, σ_y , σ_z については Pasquill 図のうち B, C, D および E のものについて計算した。

風向については、SSW, SW by S 方向の風について計算した。SSW 風については、図1の①~④の直線の方向と一致しており、この①~④の直線上への各煙源からの汚染負荷濃度を算出し、全煙源について加算して直線上の理論汚染濃度とした。SW by S 風については、図1の⑤の直線の方向に一致し、理論汚染濃度を、①~④と同様に算出した。⑤の直

線の方向には、福田町、天城の測定点
がその上に位置している。

4 煙源条件

計算を行なった15本の煙源の汚染質
の排出条件については、浜村ら⁴⁾によ
るものを使用した。これらは、煙突の
実高さ25~140m, 排ガスのエネルギー
0.17~7.32 MW, 亜硫酸ガス排出量35
~490Nm³/Hのものである。亜硫酸ガス
の排出量の合計は2420 Nm³/Hで、昭和
43年当時のこの地域の全亜硫酸ガス排
出量3267.83 Nm³/Hの約74%を占める
ものである。

調査成績

1 SSW 風における理論計算成績

SSW 風における理論計算結果は、
図2、図3に示した。図2は風速が2
m/sec, 図3は風速が4 m/secの計算値
を示しており、図中①~⑤は、図1の
直線を意味する。

①'の12kmの地点に水島港湾局、①の
14kmの地点に南春日町、③の14kmの地
点に福田町、⑤の10kmの地点に天城の
各測定点がある。

①の直線上では、風速2 m/secにお
いて、安定度Cのとき0.13ppm程度の
汚染が南春日町付近に発生することを
示しているが、風速4 m/secになると、
この直線上では、0.10ppm
以上の濃度は、理論上は
発生しない。

②の直線上では、風速
2 m/secにおいて、C安
定度で広い範囲に亘って
0.10ppm以上の汚染の発
生することを示している。
また、D安定度におい
ても、15km以遠で0.10ppm
以上の発生することを示
している。風速4 m/sec
では、2 m/secの傾向と
同様であるが、濃度がか
なり低下している。

③の直線上では、風速

Fig. 1 Mizushima Industrial Area

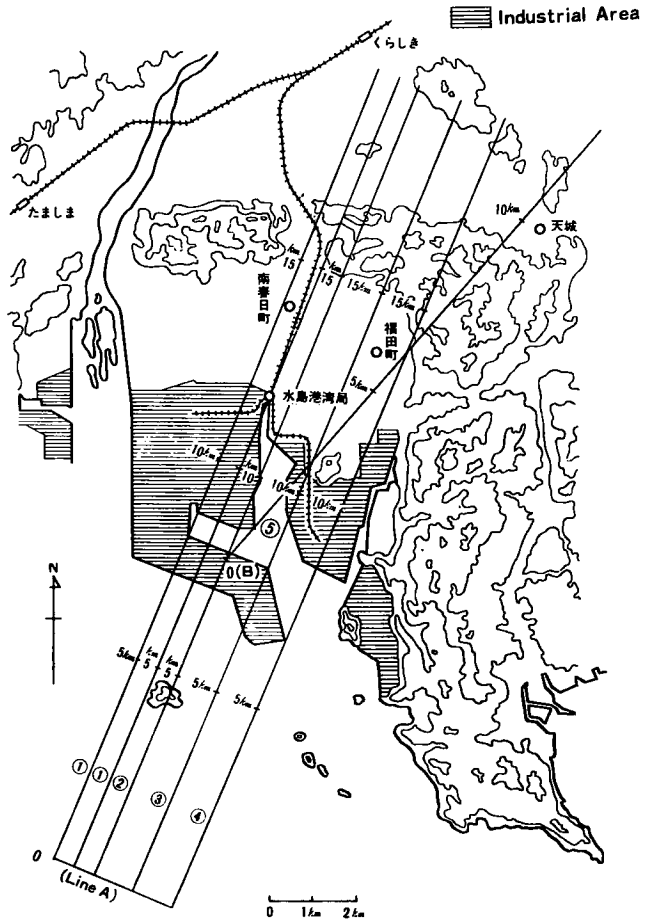
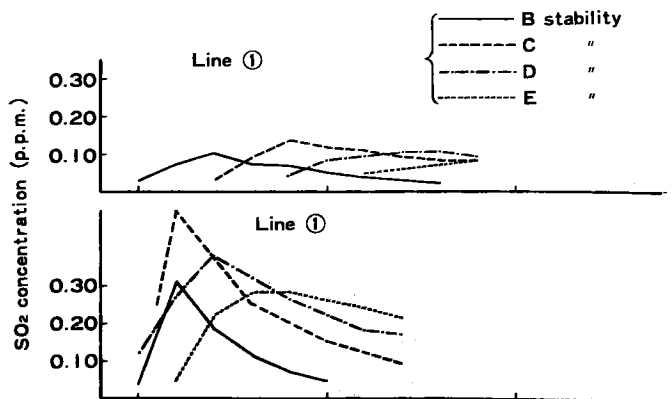


Fig. 2 SO₂ concentration calculated by using Pasquill's chart (wind velocity 2m/sec)



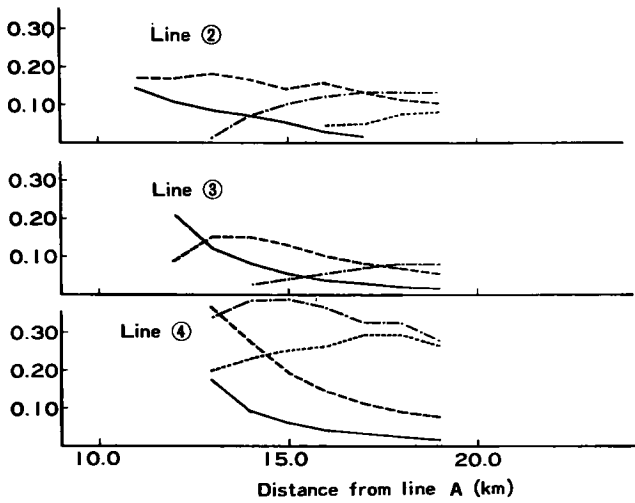
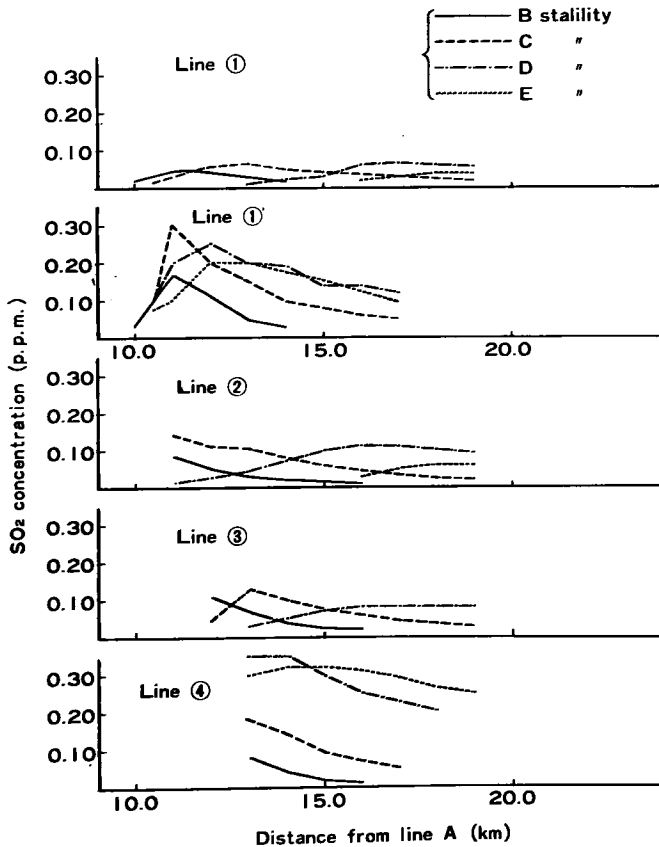


Fig. 3 SO₂ concentration calculated by using Pasquill's chart (wind velocity 4m/sec)



2 m/secにおいて、安定度 C で 0.15 ppm 程度の汚染が福田町付近に発生することを示しているが、①、②の直線上の場合と同様に風速が 4 m/sec になると濃度がかなり低下することを示している。

①'、④の直線上の汚染濃度は、①、②および③のものと同様の傾向が得られている。①'の直線上では、風速 4 m/sec、B 安定度では、0.20 ppm 以上の汚染は発生しないが、その他の条件ではすべて 0.20 ppm 以上の汚染がどこかに発生している。風速 2 m/sec の場合、C 安定度では 12~14 km の地点で 0.20 ppm 以上の発生を示している。D、E 安定度ではさらに広い範囲に 0.20 ppm 以上の汚染が発生することを示しているが、風速が 4 m/sec になると汚染される地域が煙源に近い位置になる。

④の直線上においては、B 安定度では、0.20 ppm 以上の汚染は発生せず、C 安定度では、14~15 km 付近に 0.20 ppm 以上の汚染が発生することを示している。D および E 安定度では広い範囲に高度汚染の発生することを示している。

2 SW by S 風における理論拡散成績

SW by S 風における理論拡散成績は図 4 に示した。これによると C 安定度において 5 km 付近 (福田町測定点付近) に 0.20 ppm 以上の汚染の発生することを示している。しかし、D 安定度になると 5 km 付近の汚染は低下し、風速 2 m/sec では 10 km 以遠、風速 4 m/sec では 8 km 以遠に 0.15 ppm 前後の汚染が発生することを示している。

考 察

福田町測定点における理論計算濃度と実測濃度との比較：

福田町測定点は、③の直線上の 14 km 地点付近、⑤の直線上の

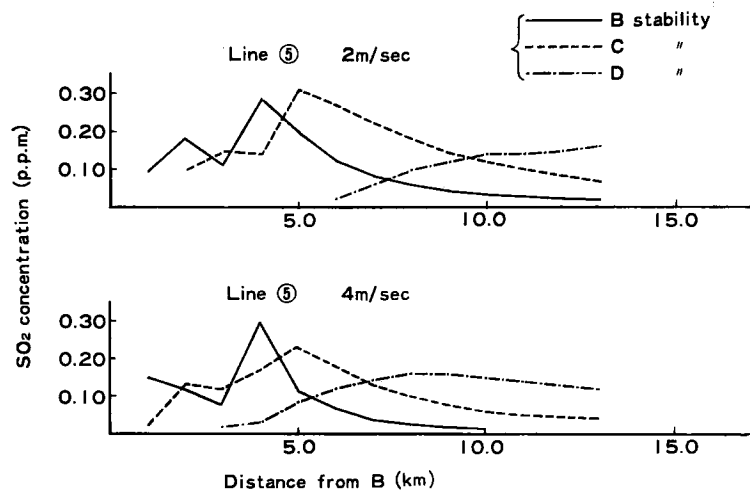
5.5km地点付近であるが、③の直線（SSW風）の場合、風速2m/secで安定度Cのときに0.15ppmの汚染発生が計算されている。⑤の直線（SWbyS風）の場合、風速2m/sec、4m/secのどちらでも、C安定度で、0.20ppm以上の汚染発生が計算されている。③および⑤の直線上に汚染負荷を与える煙源は、比較的有効煙突高が高く、（150m以上）亜硫酸ガス排出量の多いものが数本である。

このことはこれらの煙源からの亜硫酸ガスが、C安定度の拡散をした場合、SSW～SW風、2～4m/secで、福田町測定点へ0.20ppm程度の汚染を発生させ得ることを示す。③の直線の場合0.15ppmが計算されているが、計算されていない小煙源の負荷、あるいは若干の煙源の重なり具合などによっては0.20ppm程度になり得るものと推定される。

④の直線上では、DおよびE安定度で広い範囲に高濃度の発生が計算されているがこの風向が若干南向きに変化した場合は、④の直線へ負荷する煙源がDおよびE安定度の拡散をすれば福田町測定点付近へ高濃度を発生させ得ることを示している。④に負荷する煙源は比較的有効煙突高が低く（50～100m）で、亜硫酸ガスの排出量の多いものが数本である。この場合は、より安定なDおよびE安定度でもっとも後背地が汚染される例であるが、このことは、①の風向が若干西向きに変化した場合についても同様で、福田町測定点付近に高濃度を発生させ得るものと考えられる。

以上のように福田町測定点付近で記録される高濃度は、C、DおよびE安定度の拡散がおこった場合におこり得るが、第一報¹⁾のように、昭和42年、昭和43年の福田町測定点の高濃度測定例は、SSW風を中心として分布していること、日射量の多い、より不安定な気象条件時に高濃度測定例が多いことなどを考慮すると、③および⑤の風向でC安定度の拡散時のものが多いと推定される。

Fig. 4 SO₂ concentration calculated by using Pasquill's chart



水島港湾局における理論計算濃度と実測濃度との比較：

水島港湾局は①の直線上の12kmの地点付近であるが、風速、安定度によらずどのような場合にも高濃度の発生が計算されている。

第1報¹⁾においても水島港湾局の高濃度汚染が種々の風向・風速・安定度のもとで発生し、汚染は一様でないことを指摘したが、計算結果もこれを裏付けている。しかし、①の直線は、SSW風の方角を示し、その風向での濃度を計算しているものであるが、第1報の結果のうち、水島港湾局の高濃度がSSW、3m/secにもっとも多く発生している点については問題がないとしても、実測値が、SSW風では風速が高いほど平均汚染濃度が高くなっている点は、計算結果と一致しない。この点はさらに今後の解析が必要である。

天城における理論計算濃度と実測濃度との比較：

天城測定点は⑤の直線上の10km付近である。SSW風では、この測定点へ影きょうを与える煙源がなく、SSW風より若干西寄りの風向の時に主要煙源から影きょうを受ける。それにもかかわらず、天城測定点の高濃度がSSW風の時にもっとも多くなっている¹⁾のはこの地域の海風の流線に注目する必要があると考えられるが、今回は便宜上⑤の直線の方向に注目して理論計算を行なった。

2m/secにおいてはこの地点へ影響を与える煙源の有効煙突高が高いために、天城付近はCおよびD安定度において0.10ppm以上の広い汚染域の中に含まれる。C安定度では0.10ppm、D安定

度では0.14ppm程度の計算結果が得られている。
4 m/secにおいては、若干有効煙突高が低くなるために、最高濃度地点はかなり煙源側に近づく。このため天城付近は、C安定度では、0.05ppm程度の低濃度となるが、D安定度では最高濃度地点は、煙源側にずれるが0.14ppm程度のままである。いずれにしてもD安定度でもっとも高い濃度の出現が予測され、第1報¹⁾の実測の傾向とよく一致している。風速がさらに強くなると有効煙突高がさらに低くなるため、最高濃度地点が煙源側に近づき、理論計算濃度が低くなるが、このことは実測結果とよく一致しており、天城では5 m/sec以上の風速になると高濃度の出現はほとんどない。

⑤の直線上では天城においては0.20ppm以上の汚染は算出されていないが、この点については、計算されていない煙源からの負荷が加わることによって0.20ppm程度になることが考えられる。また、(2)式の σ_y 、 σ_z のとり方についてもPasquill²⁾によるものの他のものが存在することが考えられる。とくに、図3のように⑤の直線上の濃度変化のうち、CおよびD安定度の拡散計算値の間に大きい差がありこの間にもう1つの拡散パターンが存在することが推定される。

③⑤および①④の直線上の濃度変化について：

図2、図3から明らかなように6本の直線上の濃度変化のうちに2つの型があることが判る。③⑤、①④が典型的である。③⑤は影きょうする煙源が有効煙突高の高い場合の例である。この場合A～B安定度の拡散では最高濃度地点が煙源に近づきすぎて（実際にそのような拡散をすることもあまりないと考えられる。）影きょうが少なく、E安定度の拡散では遠くへ拡散希釈されて影きょうが少ない。CおよびD安定度の拡散がもっとも後背地への影きょうが大きい。①④は影きょうする煙源が有効煙突高が低い場合の例である。この場合には、DおよびE安定度の拡散がもっとも後背地への影きょうが大きい。

両者のうちどちらがより多くおこっているかは現段階では明らかではない。前述のように福田町測定点の高濃度は気象条件などからみて、③⑤の型の方が多くと推定されるが、③⑤は0.20ppm前後の濃度しか説明できないので、0.40ppm前後の高濃度実測値を説明するについては①④の方が妥当であろう。

理論拡散計算について：

⑤の直線上の濃度変化から明らかなように安定度B、CおよびDの拡散計算濃度のうち、CからDへの変化が激しく、弱風するとき（有効煙突高が高いとき）に著しい。実際にはこの中間の拡散がおこることが考えられ、最高濃度地点は10km付近で、0.20ppm程度となりそうすれば天城測定点の高濃度がうまく説明される。

③⑤の直線上の濃度変化から明らかなように、Pasquillによる安定度分類²⁾をPasquill²⁾図による拡散計算に適用するについては実際の気象条件を2段階程度、安定な方向にずらせて適用する必要のあることが判った。すなわち第1報¹⁾において指摘したように福田町の高濃度測定値はA～B安定度の気象条件のときに実測例が多いが、③⑤の理論計算濃度のように理論的にはC安定度の拡散パターンによって高濃度の発生を説明できる。また、天城についても、高濃度測定値はA-B-C安定度の実測例が多いが、理論的にはD安定度の拡散計算によって高濃度の発生を説明できるからである。この点については、前述のように①④の直線上のDおよびE安定度拡散のような場合があるので、その頻度についてさらに研究がなされる必要がある。

なお、高煙源と低煙源に同一の拡散巾、 σ_y 、 σ_z を与えたこと、Pasquill図²⁾の σ_y 、 σ_z を1時間値としたこと、有効煙突高の算式にHolland³⁾式を正しいものとして採用したことについては、今後さらに研究の余地があるものとする。

結 論

昭和43年4～6月に移動していた主要な煙源15本の排出する亜硫酸ガスについて、風速2 m/sec、および4 m/sec、風向SSWおよびSW by S、Pasquill図²⁾による拡散巾B～Eのときの理論拡散計算を行ない実測された高濃度の亜硫酸ガス汚染を理論上どの程度説明できるかを調べたが、その結果は以下のとおりであった。

1 福田町、天城の高濃度は理論的には比較的高煙源からの亜硫酸ガスがPasquill図²⁾における、C～D安定度の拡散をしたときに発生し得ることが判った。しかし福田町の高濃度のうち0.40ppm以上の高濃度については、比較的低煙源からの亜硫酸ガスがPasquill図²⁾におけるE安定度の拡散をしたときに発生し得ることが判った。

また第1報¹⁾において、安定度の変化により高濃

度が、福田町、天城の間で移動することを指摘したが、このことは理論的にも Fig 4 の⑤の直線上の濃度変化から明らかなように、Pasquill⁹⁾ 図の C および E 安定度の拡散計算によって移動を説明できることが判った。

2 水島港湾局の高濃度は理論的には種々の条件でおこり得ることが判った。この測定点の実測値についても各種の条件で高濃度が発生しており理論上の結果として一致している。

3 Pasquill が提唱した、風速、日射量および雲量による安定度分類⁹⁾ を Pasquill⁹⁾ 図の安定度に適用するについては若干安定な方向にずらせることが実

際であることを第 1 報¹⁾ において指摘したが、理論計算においてもそれが正しいことが判った。すなわち、福田町の高濃度実測値は Pasquill の安定度分類によれば A~B に多いが、理論計算は Pasquill⁹⁾ 図の C 安定度に説明力があり、天城の高濃度実測値は、A-B~C 安定度に多いが理論計算は D 安定度に説明力がある。

稿を終るにあたり拡散計算などを行なうについて、岡山大学工学部生産機械工学科、大崎絰一氏に多大の協力を得た。ここに深く感謝の意を表す。

文

- 1) 井上堅太郎：「水島臨海工業地帯における大気汚染と気象条件について (第 1 報)」, 岡山医学会雑誌, 81, 127~134, 1968.
- 2) J.Z. Holland: A Meteorological Survey of the Oak Ridge Area, U. S. Atomic Energy Committee, Report ORO-99, 1953.
- 3) F. Pasquill: The Estimation of the Disper-

献

- sion of Windborne Material, The Meteorological Magazine, 90, 33~49, 1961.
- 4) 浜村憲克, 繁田文通, 高谷洋一, 岡田弘捷: 岡山県水島地区における大気汚染パターン, 岡山県衛生研究所年報, 16, 99~107, 1969.
- 5) 岡山県企画部公害課: 岡山県公害概要, 100 1970.

**Relationship between Sulfur Dioxide Concentration
in Mizushima Industrial Area**

Part 2

**[Comparison of Sulfur Dioxide Concentration Measured Practically
and Logical Concentration Calculated Using Pasquill's Chart]**

By

Kentaro Inoue

Department of Public Health, Okayama University Medical School
Okayama

(Director : Prof. Masana Ogata)

The author calculated, using Pasquill's chart, the logical concentration of sulfur dioxide concerning principal 15 chimneys in many places of Mizushima industrial area which had emitted 74 percent sulfur dioxide over Mizushima, and compared concentrations measured practically at the respective station of Fukuda-cho, Mizushima Harbor Office and Amagi with the logical concentration calculated by Pasquill's chart. The results obtained were as follows.

1. The high concentrations of sulfur dioxide measured practically at Fukuda-cho station could be logically explained by the diffusion called C-stability following Pasquill, and those at Amagi station could be also explained by the diffusion called D-stability.

2. Under the condition of each of A and B stabilities following Pasquill, sulfur dioxide diffused itself significantly on C-stability in Pasquill's chart, and in the case of each B and C stabilities, it diffused itself on D-stability in Pasquill's chart.