HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	冬期暖房による都市大気汚染機構についての一解析
Author(s)	井上, 力太; 谷沢, 平八郎; 渡辺, 有治 他
Citation	衛生工学, 17, 11-20
Issue Date	1970-03
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/36198
Type	departmental bulletin paper
File Information	17_11-20.pdf

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

冬期暖房による都市大気汚染機構についての一解析

井上力太* 谷沢平八郎** 渡辺有治***
中村 晃*** 中島 敏**** 喜多大次郎*****
田中幸治****** 増田喬史*******

An Analysis of the Air Pollution in an Urban Built up Area

Rikita INOUYE Heihachiro YAZAWA
Yuji WATANABE Akira NAKAMURA
Satoshi NAKAJIMA Daijiro KITA
Koji TANAKA Takafumi MASUDA

ABSTRACT

Statistical analysis was made for the relationship between the sulphur oxides concentration measured at the urban built-up area of Sapporo city and significant meteological parameters.

It is shown that the meteological factors concerned with diffusion potential of atmosphere such as wind speeds and atmospheric stability have not any significant relationship with the sulphur oxides concentration.

Among the various meteological factors, only the ambient temperature has the predominant effect on the sulphur oxides concentration in the air.

This is explained by the fact that the emission rate of sulphur oxides was related to the ambient air temperature. The simple regression equation which gives the relation between the daily fuel consumption for a building boiler and the ambient air temperature is as follows.

$$F = K(21.6-T)$$

where F = Fuel Consumption
T = Daily average Temperature
K = constant

We have also investigated the functional relationship between sulphur oxides concentration and wind speeds and air temperature at this point and the following equation was obtained.

$$\bar{C} = 2.9(21.6-T)^{0.35}/\bar{U}^{0.13}$$

where $\bar{C}$ = sulphur oxides concentration
$\bar{U}$ = wind speed
All these variables are daily average values.

* 都市環境工学講座教授
** 都市環境工学講座助教授
*** 都市環境工学講座助手
**** 釧路工業高等専門学校講師
***** 千葉県公害研究所
****** 下関労働基準監督署
******* 大阪市衛生局

1．まえがき

札幌市の大気汚染は本州諸都市とは幾分様相が異なり冬期におけるビルディング及び家庭などの暖房排気が主要汚染源となって居り，企業の生産活動による汚染物発生は極めて少い。

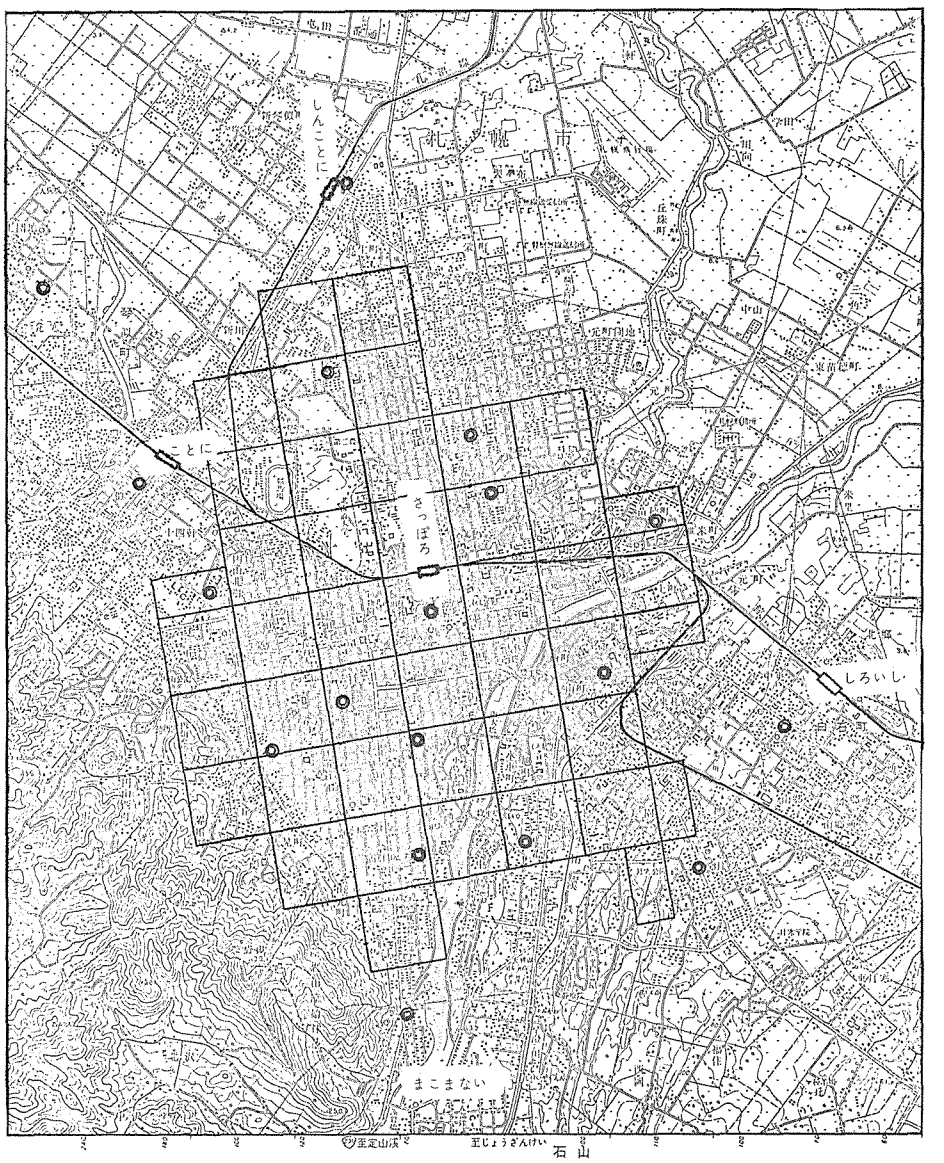
本報告は札幌市主要部における汚染物発生の地理的分布の実態について，簡単にその調査結果を述べ，次いで特に汚染濃度の高い市中心部における「いおう酸化物」の濃度と，発生量及び気象条件との関連について解析を試みたものである。

2．汚染物発生量の地域的分布について

札幌市全域は1117.98平方キロメートルの面積を有しているが，この地域の中には山林なども含まれて居て，住宅，ビルディング等は比較的一部地区に集中している。

昭和42 ～ 43年の冬期に著等は北海道及び札幌市と協力して市内の比較的ビルディング及び住宅の密集している42.5平方キロメートルに対して第1図に示すような各1平方キロメートル（一部は0.5平方キロメートル）の区域に分けて冬期6ヶ月間の燃料消費調査を実施した。

この対象調査地域は全市域総面積の3.8％にしか過ぎ



第1図　汚染物発生源調査区域

ないのであるが，この地域内には札幌市全世帯数257,000の45%に当る117,000世帯が含まれて居り，又札幌市煤煙防止条例によって届出が義務づけられている火床面積又は燃焼室底面積0.25平方メートル以上のボイラー，炉等については，届出全数1,479事業所の56%に当る 830事業所がこの地域に含まれる。

この発生源調査はボイラー，炉については全数を対象として行ない，家庭に関しては 1/100 抽出により無作為に1,200世帯を抽出して実施した。家庭の場合はこうして得られた1世帯当りの平均消費量（石炭の場合，1.735 トン）に地区毎の世帯数を乗じてその地区の総消費量を算出した。

この調査の結果から見ると，燃料消費量は極端な都市中央部への集中傾向が見られ，特に重油については，市の中心部に当る2つの区域（2平方キロメートル）で全調査地域の39%にあたる 22,440kl を消費する。

北海道で消費される主要な暖房炭種及び燃料重油について，以前に北海道工業試験場において分析した結果によれば，札幌市に入荷する石炭およびA, B, C 重油の平均硫黄含有量は，石炭の場合可燃性硫黄含有量で0.2% 又重油についてはA重油1%，B重油2.5%，C重油3%となっている。この値と燃料消費量の調査結果を用いて各地区毎に亜硫酸ガスの全発生量を試算して見ると第2図に示す如くになり，冬期6ヶ月間における調査した地区全体からの発生量，3,490 ton の29%に当る1,009 ton は前に述べた中心部の2平方キロメートルの面積の地区から発生していることになる。

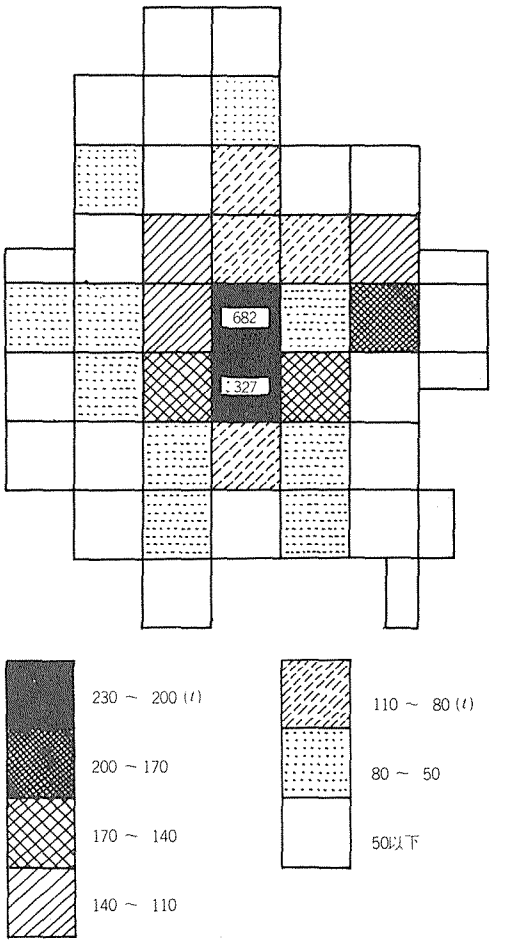
この2平方キロメートルという地域は全調査対象地域の4,7%に過ぎないのであるが，この事から如何に亜硫酸ガスの発生が市中央部に集中しているかがわかる。

又亜硫酸ガスの全発生量 3,490 ton の75%に当る2,620 ton は家庭以外のボイラー及び炉から発生して居り，又煤塵についても上と同様な推論を行った結果その70%がこれら燃焼施設から発生していることが結論された。

このように冬期の暖房煤煙の中で家庭のストーブによる発生寄与率は30%に過ぎないこと，及び発生は著しく都市中心に集中していることは注目すべきことである。

3．都市中心部における硫黄酸化物濃度と気象条件との関係について

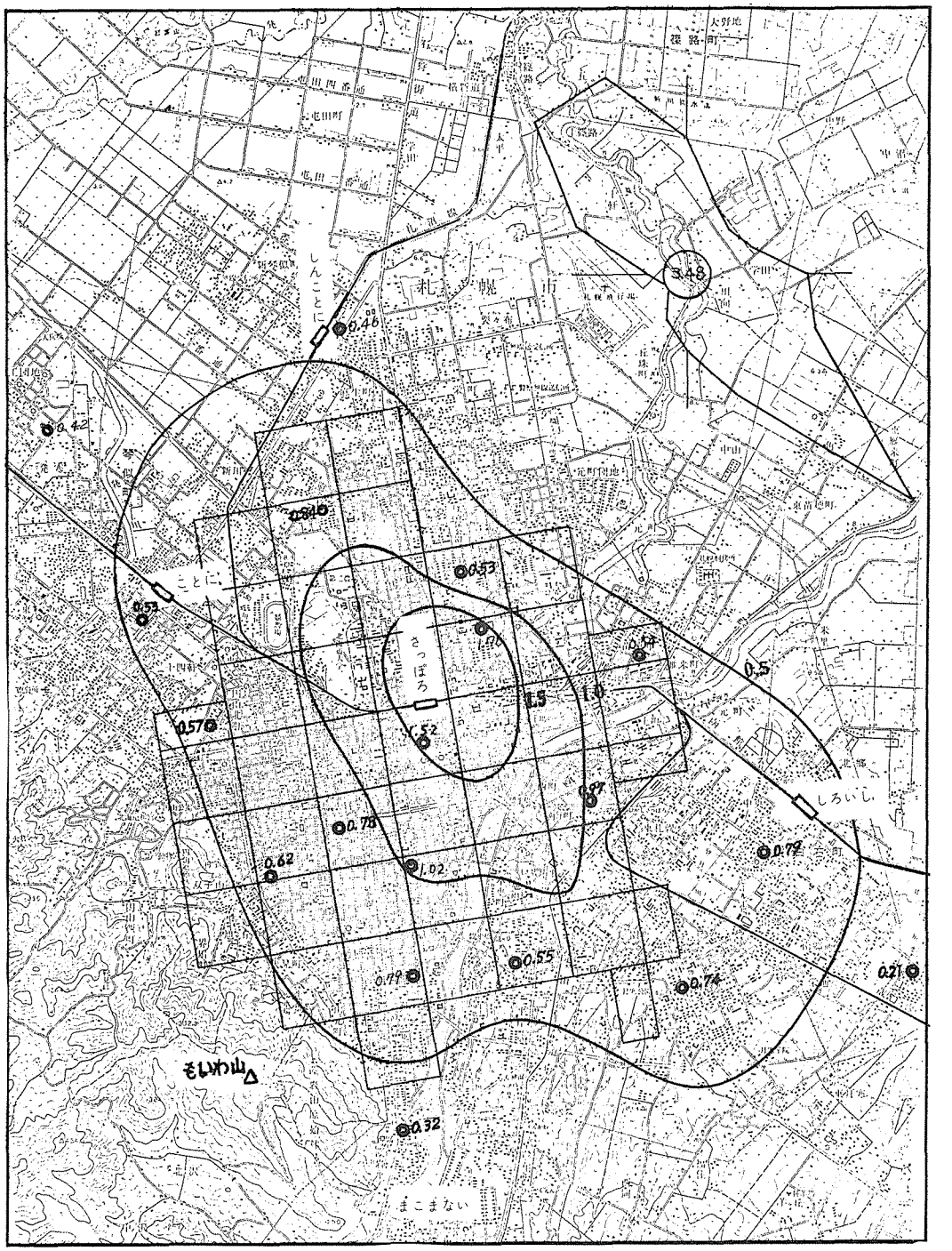
以上述べたような発生源の分布に対応して煤煙や硫黄酸化物の環境濃度も同様に著しく都市中心への集中傾向が見られる。第3図は PbO_2 法による硫黄酸化物濃度の



第2図　冬期間（10月～3月）全亜硫酸ガス発生量

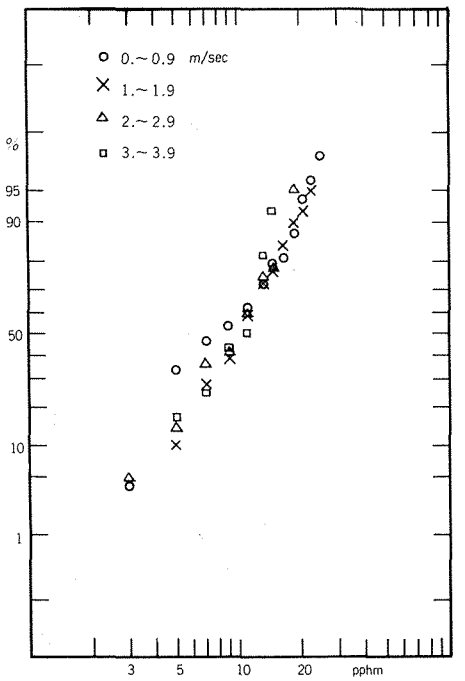
分布図を昭和43年11月から44年3 月迄の冬期5ヶ月間の平均値について画いたものである。この図より発生量のみならず環境濃度も中心部が著しく高くなっていることがわかる。

しかしこのような高濃度を示す都市中心部ではビルディングにかこまれた所謂ビルの谷間の空間が我々に関係のある環境であり，又汚染源はビルディング屋上に僅かに突き出た煙突であって産業公害の場合に問題となるような孤立汚染源ではない。従って汚染物排出量と環境濃度との関連，或いは環境濃度と気象条件との関係等についても孤立汚染源の場合とは異った様相を呈するものと思われる。ここでは市中心部の汚染濃度を代表すると思われる市役所第二庁舎の測定値について発生条件及び気象条件等との関連について解析を試みる。第4図は昭和42年11月より昭和43年3月迄の5ヶ月間における，第二



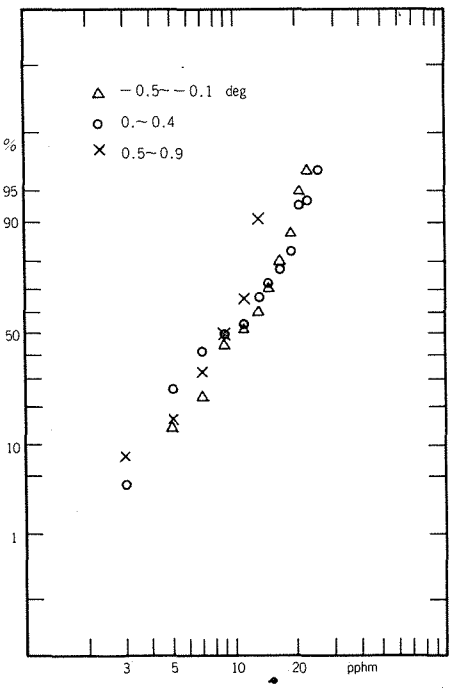
第3図　冬期間（11月～3月）SO_3平均濃度分布　（mg/100cm²・day）

庁舎で測定された電気伝導法による硫黄酸化物濃度の毎日8時～9時の一時間の値を図中に示すような風速階級別に分類して，その各々についてこれを累積相対頻度図に画いたものである。風速は第二庁舎より約2キロメートル西にある気象台の観測値で9時の値を用いている。図でわかるように各階級の間には，はっきりした差は現



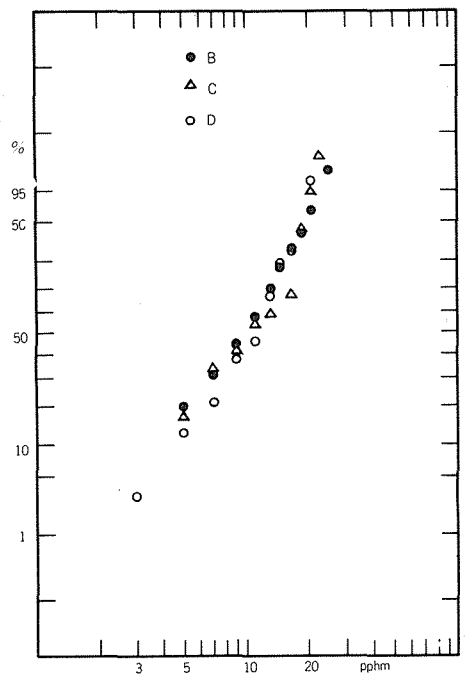
風速区分による硫黄酸化物濃度出現率（1時間値）

第4図　風速区分による硫黄酸化物濃度（1時間値）出現率



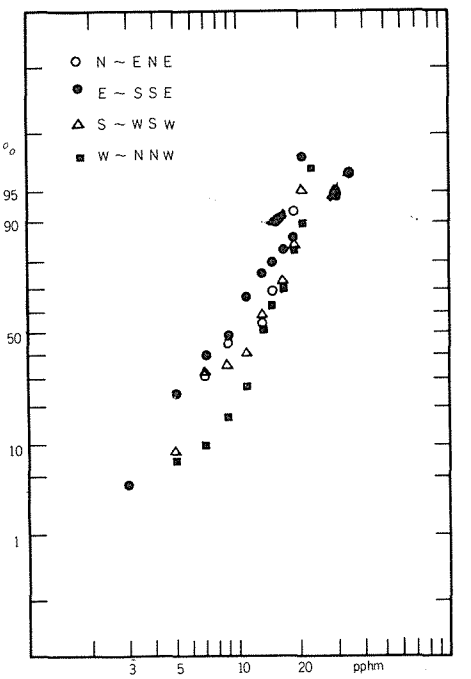
高度間温度差による硫黄酸化物濃度出現率（1時間値）

第5図　高度間温度差による硫黄酸化物濃度（1時間値）出現率



大気安定度分類（英国気象局式）による
硫黄酸化物濃度出現率（1時間値）

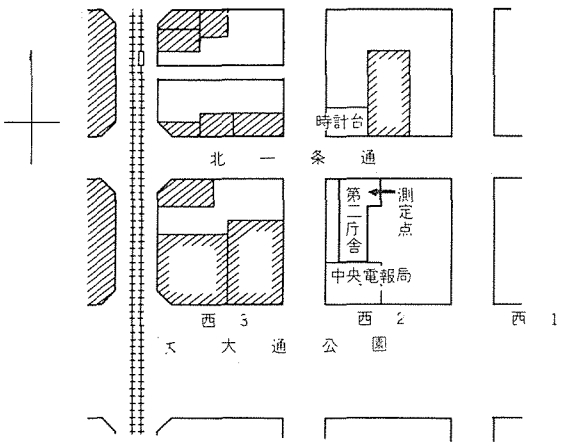
第6図　大気安定度分類（英国気象局式）による硫黄酸化物濃度（1時間値）出現率



風向別の硫黄酸化物濃度出現率（1時間値）

第7図　風向別の硫黄酸化物濃度（1時間値）出現率

われていない。第5図は同様な図を気温の高度差について階級分類を行って図示したもので，ここでの気温差とは，第二庁舎のすぐ近傍にあるテレビ塔の61.0mにおける気温と34.0mにおける気温差 $T_{61.0}-T_{34.0}$ を意味する。この場合にも各階級間に特別の差異は認められない。同様なことはPasquillの安定度に関して分類した第6図についてもいい得る。これらの事から見れば汚染濃度は大気の拡散能力にはあまり関係がない事が推定され，従って汚染物が大気中に浮遊している時間は極めて短い事，即ち近傍汚染であることが推定される。風向に関しては，第7図に示す如く西成分の入った風の方が低濃度が出にくいという特徴があるが，この事も第8図に示すように近傍汚染源の配置より推定することが出来る。

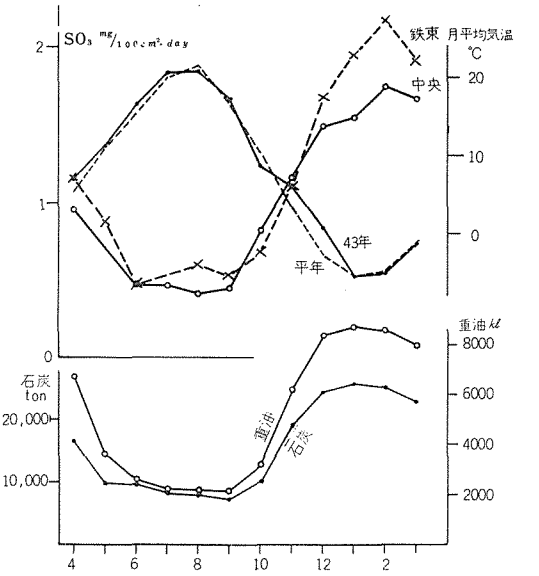


第8図　測定点附近略図（斜線部分の建物は測定点より高い）

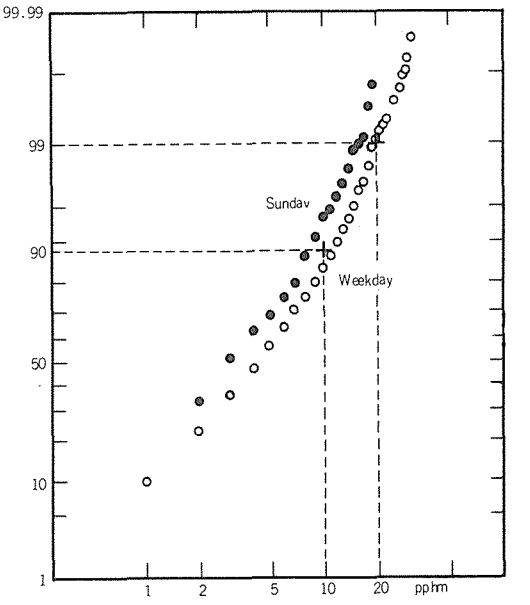
4．都市中心部における硫黄酸化物濃度と発生量との関係について

前節に述べた如く少くとも拡散条件に関連すると思われるような気象条件と都市中心部のビルディングで建て込んだ地域における硫黄酸化物濃度との間には特に認められるような関連はない。そこで次に発生量がどのように濃度と関係するかを調べた。第9図は昭和43年度における各月毎の燃料消費量，硫黄酸化物濃度，月平均気温の変化を示したものであるが消費量と濃度との並行性及びその気温との逆相関性が定性的にはっきりと認められる。

次に都市中心部は殆んどがビルディング，事務所で占められ住宅が極めて少いことから，発生量は日曜，祭日と平日との間で差があると考えられる。このことから日曜，祭日と平日とに分けて硫黄酸化物日平均濃度の累積頻度分布図を対数正規確率紙上に書いて見ると第10図



第9図　燃料消費量 SO_3 mg/100cm²·day 月平均気温の関係

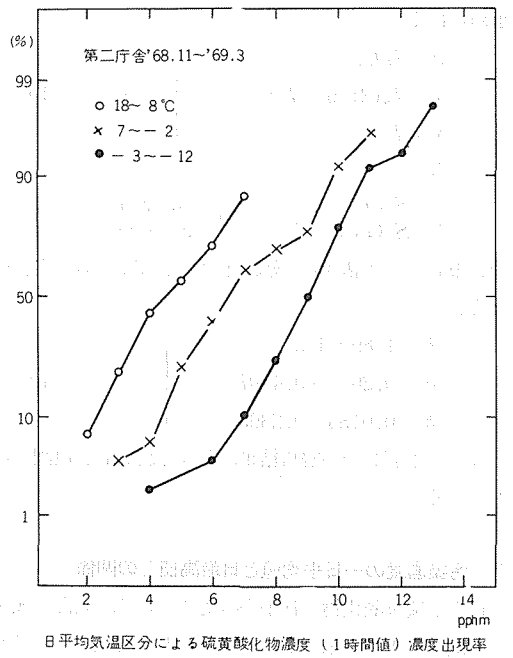


第10図　汚染物発生量の差による硫黄酸化物濃度（1時間値）

の如くになる。第10図に示すごとく日曜，祭日と平日とではっきりした差がみられ，両者はほぼ平行関係にある。今すべての発生源からの汚染物排出量が或る等しい割合で減少したとしたら，この累積度数分布曲線は左方に平行移動する筈である。このことから上の図を見ると日曜日の発生量は平日のほぼ70%になっていることが推定される。

次に発生量に関係あると考えられるのは気温である。一日の燃料消費量は当然その日の日平均気温に関係した

ものであろうし，そのことは前述の第９図にも月平均については，はっきりと認められている。そこで第11図には日平均硫黄酸化物濃度を日平均気温についての10度毎の３個のクラスに分けて累積頻度分布図を画いて見たものである。図に示されるようにこの場合ははっきりとした差異が認められる。尚この図の作成にあたっては日曜祭日の値は除外した。



日平均気温区分による硫黄酸化物濃度（１時間値）濃度出現率

第11図　日平均気温区分による硫黄酸化物濃度（１時間値）

5．一日の燃料消費量と日平均気温の関係について

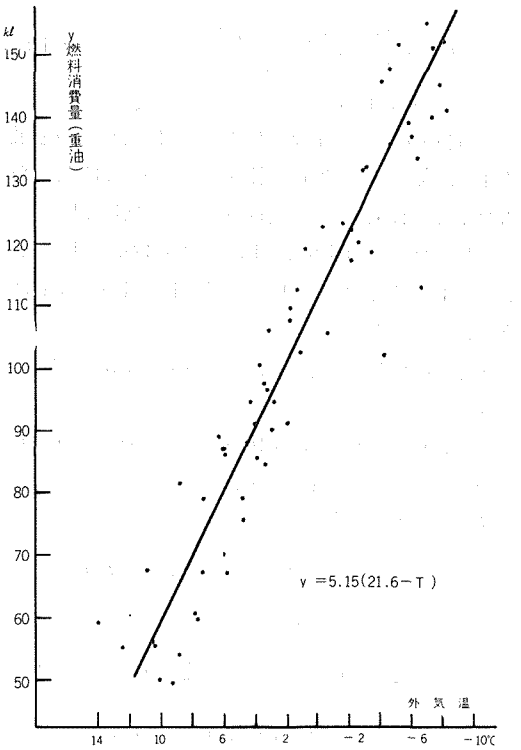
第12図は札幌市中心部にある石油系の燃料を使用する28のビルデイングのボイラーについて日別の燃料消費量を求め，それらの平均値を日平均気温に対して plot したものである。但し燃料消費量の値は中央部に所在する石油系の燃料を使用する事業所の数140の総計値の意味で，140倍したもので書いてあるがこの場合は大きな意味はない。日燃料消費量と日平均気温とは−0.8の相関係数を持ち，

$$Q=K(21.6-T) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

という回帰直線によって両者の関係が与えられる。

6．日平均硫黄酸化物濃度と発生源要素および気象要素との関係

硫黄酸化物の日平均濃度に関係する要素としては次式に示すごとく日平均風速 $\bar{U}$，硫黄酸化物の発生量 Q，お



第12図　日平均気温と燃料消費量との関係

よび水平垂直の拡散係数 σ_y,σ_z などが考えられる。

$$\bar{C}=f(\bar{U},\ Q,\sigma_y,\sigma_z) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (2)$$

しかし乍ら，ここに述べるような測定点のまわりに多数の汚染源が存在する場合には σ_y の効果は無視出来ると考えられ，又ビルの谷間における濃度を問題にし，しかも日平均濃度をあつかうような場合には σ_z に及ぼす大気安定度もあまり考慮に入れなくてよいと思われる。

例えばHalitsky[1]によれば，建物とかその他の障害物の附近で用いられる拡散式の最も簡単な形式は(3)式で示される。この場合Kは気象条件および排出条件に関係する常数で0.5～2.0の値をとるが，主として風速及び煙突排気速度等の発生源因子に関係する値と考えられる。L^2 は卓越風に垂直な面への建物の投影面積である。

$$\bar{C}=K\frac{Q}{\bar{U}L^2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (3)$$

従って $\bar{C}$ を左右する大きな要因は $\bar{U}$ および Q であり，その商の形で与えられる。

今 Q について燃料中の硫黄含有量の差異を無視し，一日の燃料消費量を用いて表わすことにする。。この場合には前節で述べた(1)式の結果を用い，更に(3)式の K も風速等の函数であることを考慮して，次式の如く置く。

$$\bar{C}=k\frac{Q^a}{\bar{U}^b}=k\frac{(21.6-T)^a}{\bar{U}^b} \quad \cdots\cdots (4)$$

この(4)式を多重回帰の方程式として実測データを用いて解析を行った。T及び$\bar{U}$については気象台の観測値を用い，又日平均濃度$\bar{C}$を計算する場合には日曜，祭日及び1日の1/3以上の欠測時間のある日は除外した。

解析した期間は昭和41年10月～昭和42年4月，42年10月～43年4月，および43年11月～44年4月の3年間の冬期についてである。

実際に解析を行う場合(4)式の対数をとり(5)式の如く変換する。

$$l_n\bar{C}=l_nk+a\,l_n(21.6-T)-b\,l_n\bar{U} \cdots (5)$$

今係数k，a，bの推定値$\hat{k}$，$\hat{a}$，$\hat{b}$が求められると残差平方和は，(6)式のようになる。

$$\begin{aligned}q&=\sum_{i=1}^{n}(l_n\bar{C}_i-l_n\hat{k}-\hat{a}\,l_n(21.6-T_i)\\&\quad+\hat{b}\;l_nU_i)^2\\&=\sum_{i=1}^{n}(l_n\bar{C}_i-l_n\bar{C})^2-\hat{a}\sum_{i=1}^{n}\Big\{l_n(21.6-T_i)\\&\quad-l_n(21.6-T)\Big\}\Big\{l_n\bar{C}_i-l_n\bar{C}\Big\}\\&\quad+\hat{b}\sum_{i=1}^{n}(l_nU_i-l_n\bar{U})(l_n\bar{C}_i-l_n\bar{C}) \cdots (6)\end{aligned}$$

多重回帰方程式による誤差分散$\hat{\sigma}^2$(7)式と濃度分散$\hat{\sigma}^{*2}$(8)式から自由度調整ずみの重相関係数R^*が(9)式の正根により求められる。

$$\hat{\sigma}^2=\frac{q}{(n-\phi-1)} \quad \cdots\cdots (7)$$

$$\hat{\sigma}^{*2}=\frac{\sum(l_n\bar{C}_i-l_n\bar{C})^2}{n-1} \quad \cdots\cdots (8)$$

但しϕは要因数：今の場合は日平均風速と日平均気温の2要因

$$R^{*2}=1-\frac{\hat{\sigma}^2}{\hat{\sigma}^{*2}}=1-\frac{q/(n-\phi-1)}{\sum_{i=1}^{n}(l_n\bar{C}_i-l_n\bar{C})/(n-1)} \quad \cdots\cdots (9)$$

前記3冬期間についてのこれらの値の解析結果は次のとおりである。

表　1

係数＼年次	44.10 － 42.4	42.10－ 43.4	43.11－ 44.4
$\hat{a}$	1.0309	0.7425	0.3460
$\hat{b}$	0.1035	−0.2002	0.2091
R^*	0.9894	0.4930	0.5060
$\hat{k}$	0.3232	0.5223	3.1311
資料数n	133	168	135

また第11図に示されているように冬期間の日平均気温を或る階級に分割して，それぞれの階級別の日平均濃度累積度数分布を作ると明らかに大きな差が認められる。そこで昭和43年11月～44年4月の資料を用いて$\hat{a}$，$\hat{b}$2つの方向係数を分散分析法によって求めた。即ちここで選ばれた2つの要因のうち1つを固定した場合の要因間変動および濃度との共変動から次式によってa，bが求められる。

$$\left.\begin{aligned}z&=l_n\bar{C}_i\\x&=l_n(21.6-T_i)\\y&=l_n\bar{U}_i\end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots (10)$$

と置くと

$$\hat{a}=\frac{S_e(xz)}{S_e(xx)} \quad , \quad \hat{b}=\frac{S_e(yz)}{S_e(yy)} \quad \cdots\cdots (11)$$

更に95％信頼限界をそれぞれの係数について求めると，

$$\left.\begin{aligned}\hat{k}&=1.89\sim4.54\\\hat{a}&=0.2013\sim0.4897\\\hat{b}&=0.0183\sim0.2393\end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots (12)$$

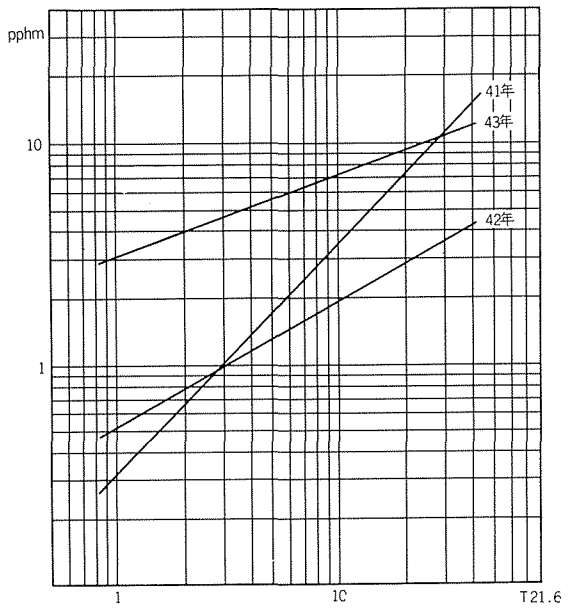
となる。上記2つの解析結果はそれぞれ第13，14図の通りである。

7．汚染濃度の一日平均値と日最高値との関係

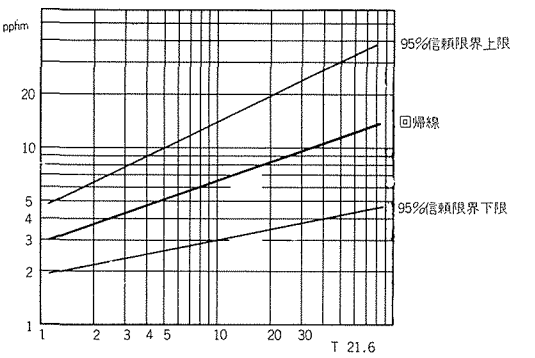
以上，硫黄酸化物の日平均濃度について，気温，風速との関係を求めて来たが，次に1日内の変化について若干の解析を試みる。札幌市の大気汚染は通常朝及び晩のそれぞれにピークを有する所謂ロンドン型であるが，この型の汚染は一般に気温接地逆転の解消又は生成と関連づけて解釈されることが多い。しかしこのピークの出る時刻は発生量も多くなっていることが予想されるので，必ずしもそれのみに原因を帰することは適当でない。

第15～18図は例として昭和44年1月8日から11日迄の経続する4日間について4つのビルデイングの暖房ボイラーの時刻別の重油消費量をとり，これらの和と時刻別の硫黄酸化物濃度とをそれぞれの最大値を1としてスケールを合せて画いたものである。これを見ると朝の両者のピークの出る時刻はほぼ一致する。すなわち朝の予熱時期における重油消費量の増大が朝の硫黄酸化物濃度を高めるのにかなり直接的に関連していることが予想される。更にピーク値のみでなく一日の両者の変化傾向にはかなりの相似性があることが認められる。

今，朝の予熱時の使用量がピークを示す1時間に消費る量と，1日消費量の1時間平均値との比を第15～18図の順序にとって見るとそれぞれ2.9，2.3，2.8，2.8とい

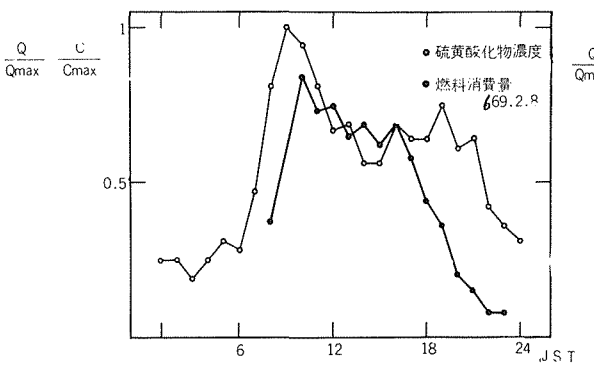


第13図　Degree－day と日平均硫黄酸化物濃度（１時間値）との回帰線（但し風速１m／sec）

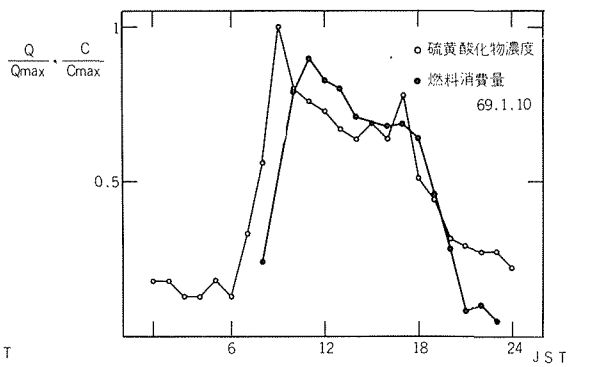


第14図　Degree－day と日平均硫黄酸化物濃度との回帰線（但し風速１m／sec）

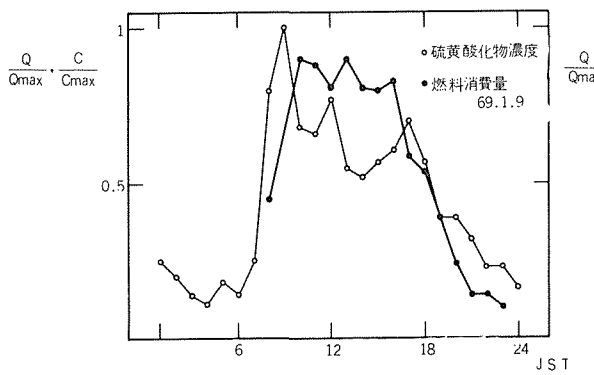
――分散分折法による、43．11～44．4――



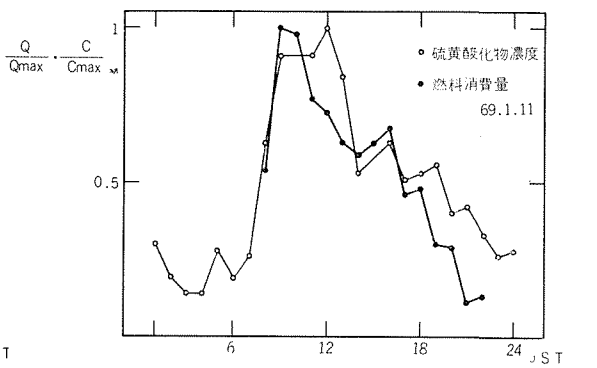
第15図　燃料消費量と硫黄酸化物濃度との日変化



第17図　燃料消費量と硫黄酸化物濃度との日変化



第16図　燃料消費量と硫黄酸化物濃度との日変化



第18図　燃料消費量と硫黄酸化物濃度との日変化

う値が得られる。つまりこの値からは毎日の変化はあまりないのではないかという推察が出来る。

そして若しこの推察が正しければ，環境濃度についても同様に1時間値の日最高値と日平均値との間には，一定の比の関係があるのではないかと思われる。実際に調べて見た結果と昭和42年11月～昭和43年3月の冬期間における日曜，祭日及び欠測日を除いた110日の値について，90%以上のデータは，

$$C_{max}/C_{mean}=2.0\pm0.5$$

の範囲内に入ることがわかった。

8．総括と検討

1）札幌市中心部にある市役所第二庁舎の5階屋上に設けられた硫黄酸化物濃度自動測定機のデータを発生量気象要素との関連について解析した。その結果，濃度は風速，大気安定度のような拡散に及ぼす気象因子との関係は極めて薄いことがわかった。

2）1日の燃料消費量は日平均気温をTとすると，$K(21.6-T)$で与えられるので，日平均濃度$\bar{C}$を$(21.6-T)$及び日平均風速$\bar{U}$の函数として解析を行った結果

$$\bar{C}=2.9\frac{(21.6-T)^{0.35}}{\bar{U}^{0.13}}$$

で与えられる。

3）日の最高濃度は$\bar{C}$の約2倍，日曜祭日の値は，約70%の値を示すという rule of thumb が得られた。

4）上述のように，濃度に及ぼす気象影響が少なく主として汚染物発生量が濃度を左右するということは，汚染物が大気中に滞留する時間が少ないうちに観測点に達していること，すなわち近傍汚染であることを意味していると考えられる。

〔感謝の言葉〕

本稿を終るに当たり，解析計算，図面の作成等に多大の労力を惜しまれなかった北大工学部衛生工学科都市環境工学講座の斉藤節嬢に厚く感謝の意を表する。

参考文献

1）J. Halitsky "Diffusion of Vented Gas Around Buildings" J. Air Pollution Control Assoc, 12 (2) : 74-80 (1962)