

大気汚染気象予報業務の現状*

佐々木 良 一**

はじめに

大気汚染と局地気象の主要な関係から、日本における都市汚染型を分類し、これらの基礎事実に立脚して組み立てられている地方センターの大気汚染気象予報業務を概略紹介する。

1. 大気汚染の推移

日本の大気汚染は高度経済成長政策の歩みとともに進展し、今日に至っている。したがって、汚染の実質は工場が使用する主要燃料によって変化し、その結果、公害の生態も時代とともに移行している。

1950年代から1960年代は主要燃料が石炭であったために、公害の対象汚染質は降下ばいじんであった。そのため、戦後約20年間のこの時代を石炭汚染時代といふことが多い。

1950年代後半から燃料が石炭から石油に切り換えられ、1960年代はじめには全国的に石油コンビナートが建設されるようになった。そのため、1961年の四日市ぜんそくをはじめ、いおう酸化物(SO_x)による健康被害が全国的に現われはじめた。国は1969年にSO₂の環境基準を決め、また自治体もそれぞれの地域の実情に応じて対策をこずるようになった。この時代を石油汚染時代と呼んでいる。

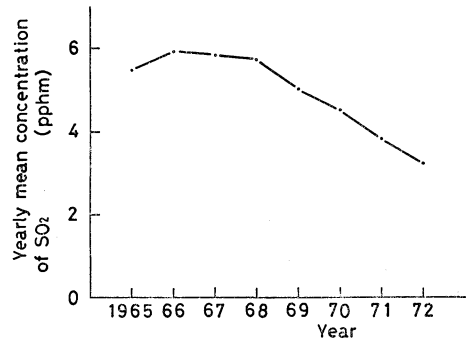
1960年代中ごろには、自動車の保有台数の伸長によって、自動車排ガスによる被害が現われはじめた。例えば、CO汚染、鉛汚染、光化学オキシダント(O_x)汚染などで、これらのうちCOについては1970年に、またO_xと窒素酸化物(NO_x)については1973年にそれぞれ環境基準が決められている。そのため、1960年代後半から現在までを自動車汚染または複合汚染時代と呼称する。

一方、1970年代に入るところから石油燃料の低いおう化によって、第1図に示す如く、SO₂の濃度は全国的に

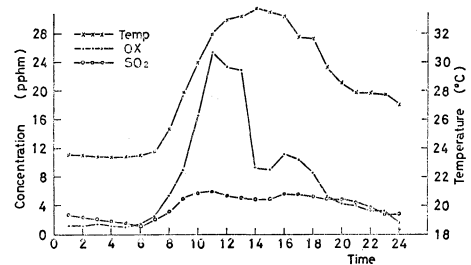
急減しているが、代ってO_xをはじめ酸性雨など複合大気汚染が多くの問題を投ずるようになった。

2. 大気汚染と局地気象の関係

良く知られている如く、冬は暖房用燃料の需要増によってSO₂濃度が他の季節より高く、夏は紫外線量のピークに一致してO_x濃度が高い。したがって、大気汚染に係り合う気象予報は、冬はSO₂に、夏はO_xにそれぞれのが絞られるが、本質的には大気中に混在する一次汚染質が大気の振舞いと係わり合って集中、拡散および運搬のうち、どの過程を選ぶかを推定する問題である。ただ、暖候期はこれらのほかに紫外線量の子報の代りとして気温予報がさらに加わってくる。



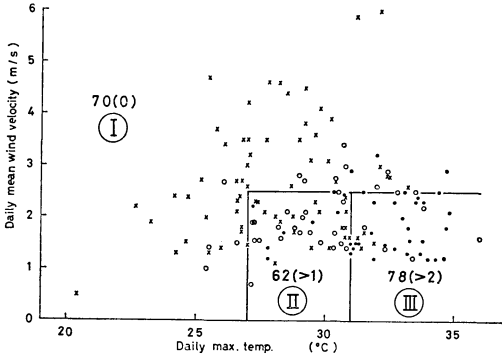
第1図 SO₂の経年変化(東京、神奈川、大阪における15測定局の単純平均値; 新谷光三による)



第2図 O_x(18, Jul., 1970, 衛研), SO₂(Jan., 1972, 樺谷, 時刻別月平均)と気温(18, Jul., 1970, 衛研)の関係

* Current status of Air Pollution Meteorological Forecasting, 第1回日米大気汚染気象委員会にて報告

** R. Sasaki, 気象庁予報部.



第3図 日平均風速・日最高気温と O_3 の日最高濃度との関係、グループI, II, IIIはそれぞれ濃度階級0 (×印), 1 (○印) 以上および2以上 (●印)の相対度数を表わす(都庁前, 衛研, 世田谷, 糀谷, 城東—Jul. 1973)

一般に、風は力学的に上述の3過程に寄与し、気温は O_3 発生の引き金となる。さらに、風と気温の鉛直組成は大気の換気状態を規定し、あらゆる大気汚染質の集中および拡散に関係している。次に都市の O_3 濃度と気象要素との関係をのべよう。

(1) 気温

日本において、光化学スモッグによる最初の集団被害(健康被害約6,000人)として有名となった東京立正高校事件当日の全記録を第2図に示す。気温と O_3 の記録は現場に近い衛研(新宿区)におけるもので、1970年7月18日の全変化過程を示す。気温と O_3 は細かく見れば、1~3時間ぐらいの位相のずれがあるが、おおむね1日周期の同位相変化を表わしている。また、参考のために、1972年1月の糀谷(大田区)における SO_2 の時刻別月平均値を図の下段に示したが、明らかに気温とは関係がらうい。

第3図は1973年7月における東京都内の5測定点(都庁前, 衛研, 世田谷, 糀谷, 城東)のそれぞれ O_3 の日最高濃度と日最高気温および日平均風速の関係を表わした散布図である。ここで、グループI, II, IIIはそれぞれ濃度階級*0, 1以上および2以上の相対発生度数を表わす。したがって、これらはそれぞれの条件における発生確率とみなすことができる。

この解析によると、風速が2.5 m/s 以下、最高気温が

* 濃度階級0: 0~9 pphm, 1: 10~14 pphm, 2: 15 pphm 以上

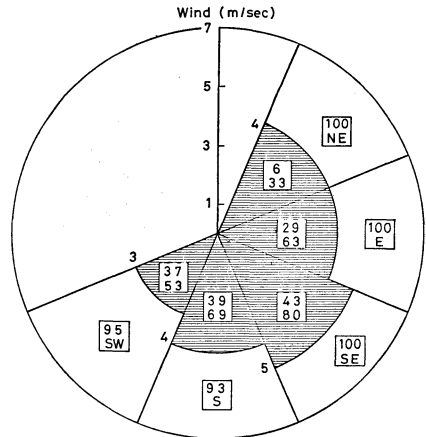
27°C 以上から大気汚染ポテンシャルが昇りはじめ、最高気温 27°C から 31°C の範囲で濃度階級 1 以上の発生確率が 62%、また 31°C 以上では階級 2 以上の発生確率が78%になることを示している。

(2) 風の効果と都市の汚染型

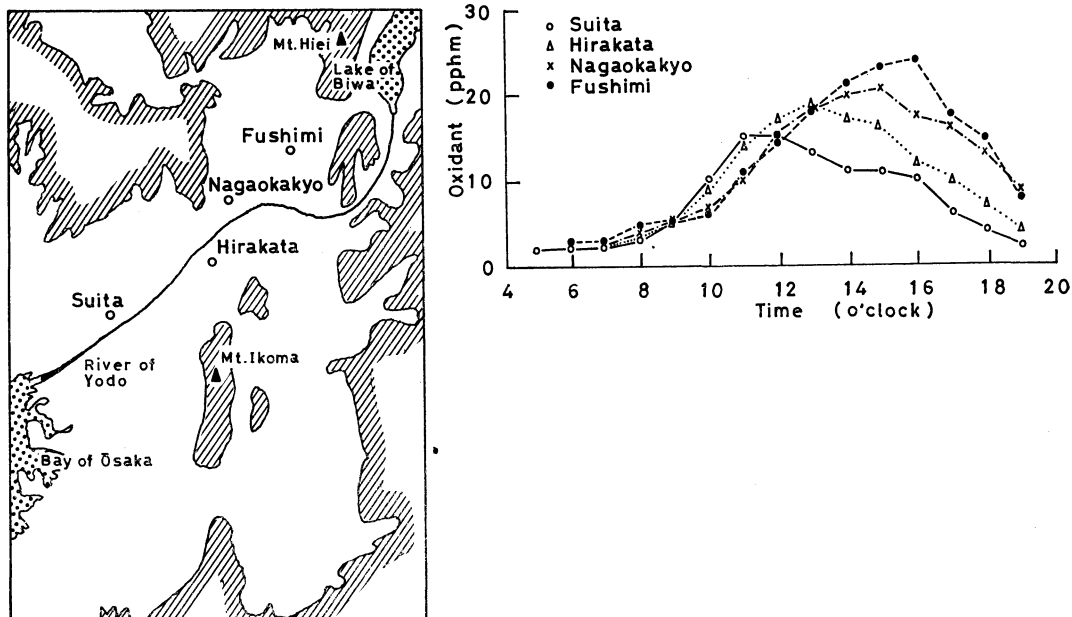
大気汚染との係わり合いを論ずる場合、風は気象要素の中で最も本質的なものの一つである。汚染源から排出された汚染物質は風によって運搬され、時には収束するからである。本質的に風は2点間の密度差によって生ずるが、その形態と持続時間は現象のスケールによって異なる。ある特殊な場合を除いて大気汚染と最も関係の深い風は、顕著な日変化を特徴とする、いわゆる海陸風および山谷風またはこれらの混合型である。一般にこれらの局地風よりスケールの大きな風、例えば気圧傾度風とか季節風などはこの局地循環系に作用して、この系の強化、抑制、および維持にどのような影響を与えるか判断する場合に、反対にスケールの小さな風、例えば、ビル風などはビルの周辺の特定期間における大気汚染を問題にするような場合に考慮される。

(a) 臨海型汚染

日本の重工業はおおむね沿岸地帯に集中している。このため、これらの工場汚染源から排出された汚染物質は夜間陸風によって海上に運ばれ、昼間はふたたび海風によって陸上に移送される。一般風が弱い限り、この閉鎖



第4図 風向・風速と O_3 の日最高濃度との関係、陰影部分は濃度階級1以上を示し、上段の数字は階級2以上、下段は階級1以上のそれぞれ相対度数を表わす。なお、白い部分の上段の数字は階級0の相対度数(都庁前, 衛研, 世田谷, 糀谷, 城東—Jul. 1973)



第5図 (a) 京都周辺の大气汚染モニタリング・ステーション配置図, (b) 1973年8月11日, 京阪間のO_x濃度の日変化(池田, 中島, 梅木などによる)

系循環は維持されて, 汚染大気は海岸線付近に滞留し, いわゆる残留汚染の効果が顕著に現われる. かくて, 瀬戸内海や東京湾の如く閉じた内海, 湖沼は一般に大気汚染に対してコンデンサーの役割を果す. このため, 盛夏期によく現われる安定した気圧配置のもとでは, これらの沿岸都市, 例えば東京, 横浜, 大阪などは, 一日周期の汚染変化をうけて, 連日汚染日になることは珍らしくない. この種の都市汚染を臨海型汚染と呼んでいる. 日本における都市汚染は大部分この型に属する.

第4図は1973年7月における東京市内の5測定点(都庁前, 衛研, 世田谷, 梶谷, 城東)のそれぞれO_xの日最高濃度と風向, 風速の関係を表わす. 陰影部分は濃度階級1以上を示し, 上段の数字は階級2以上, 下段は階級1以上の相対度数を表わす. なお, 白い部分の上段の数字は階級0の相対度数を表わす.

SE風系を軸とする海風帯(E~SW)で明らかに大気汚染ポテンシャルが高く, 陸風系(N~ly)で低い. また, 風速は3~5m/s以上では拡散の効果がよく現われている. 都市によって多少違いはあるとしても, これらの数字は臨海型汚染の一般の特徴を表わしているといえよう.

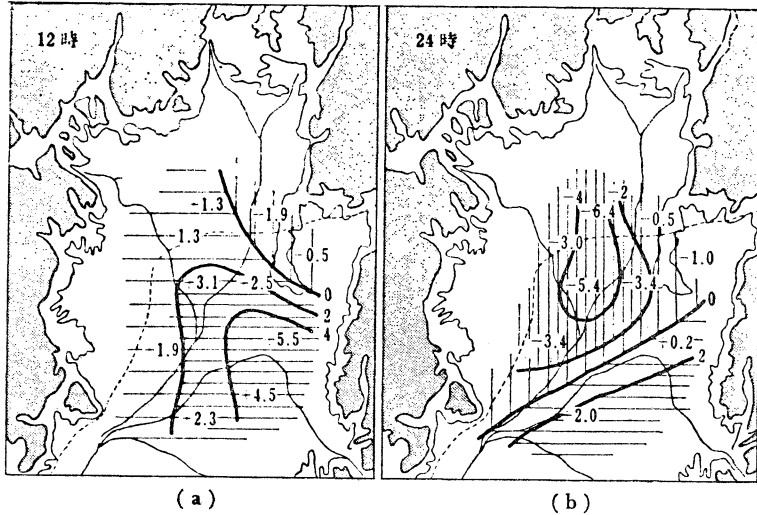
(b) 移流型汚染

一般に風が強くなると, 先述した如く, 汚染の発生源付近では拡散が進んでそれほどO_x濃度は高くないが, 風下の内陸部で意外なほど高濃度を示すことがある.

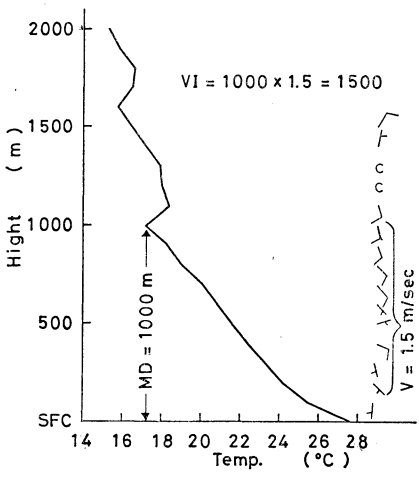
京都大学グループの調査(1974)によると, 気圧傾度風と海風の結合によって, 淀川沿いに南西風が卓越する場合は, この下流にある阪神汚染源から排出された汚染物質の輸送によって上流地域にO_xの移流効果が顕著に現われ, 第5図に示される如く, 下流から上流に向かって最高濃度の発現時刻が順次づれ, 守口市と伏見市ではおおよそ3~4時間の違いがある. このように, その都市の周辺には取り立てるほどの工業地帯がないにも拘らず, 移流によって大気汚染公害をうけるケースを移流型汚染と呼んでいる. ここに例示した京都および北関東の諸都市は, とくに暖候期, このタイプの汚染に見舞われることが多い. なお, 京都府は第5図の地形図からも明らかなる如く, 盆地上に位置しているため, 後述するような盆地型汚染の特性も兼ね備えている.

(c) 盆地型汚染

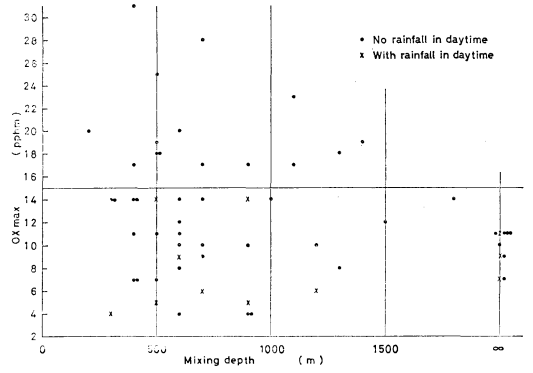
盆地型都市, 例えば京都市のような都市では山谷風循環によって閉鎖的な気象状態が出来やすい. 第6図は中



第6図 京都盆地における1971年1月11日12時(a)と24時(b)の発散分布, 単位は, $10^{-4} s^{-1}$, +は発散, -は収束を表わす.



第7図 1975年7月23日8時の東京における下層の風と気温の分布. MDは混合層高度, VIは換気指数, 矢羽根は1本が1m/sを表わす(環境庁)



第8図 朝の混合層高度と O_3 の日最濃度の関係

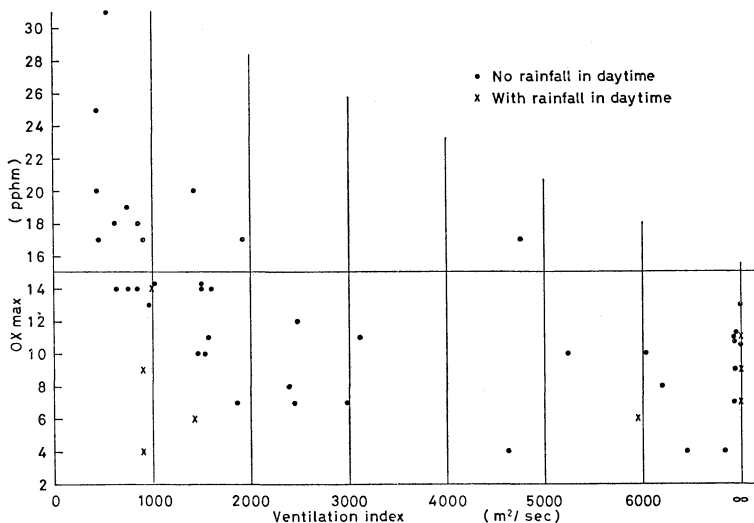
島(1975)の計算上による京都府内の冬の発散分布である。計算は風の特別観測網(16地点)によっている。明らかに日中は谷風系の発散が、夜間は山風系の収束が顕著に現われている。このため、このような都市では、一般風が弱い場合は、閉鎖的循環系によって汚染大気が都市内に閉塞され易い。この種の汚染を盆地型汚染と呼んでいる。この型の汚染都市として具体的には、京都市のほかには北海道の旭川市がよく知られているが、汚染源が

増加すれば甲府市や盛岡市などもこの型の都市に属することになる。また、巨視的には、瀬戸内海沿岸地域は盆地上に海水を満たし、その周囲に発達した多重盆地型都市とみなすことができるだろう。

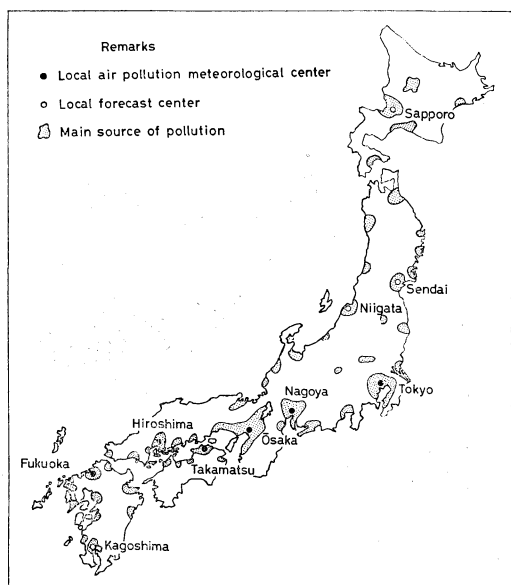
盆地型汚染都市の大気汚染は、都市全体を包み込んだ閉鎖的大気の換気状態によってきまるから、いわゆる換気指数は有力な大気汚染ポテンシャルである。

1975年6月～8月(降雨日を除く)の期間、朝8時と正午の1日2回、東京都大手町において、大気汚染気象予報のために、低層ゾンドとパイバル(2000mまで)の特別観測が実施された。

第7図は7月23日8時の下層における気温と風の鉛直分布である。ここで、MD(m)は朝8時の混合層高度、



第9図 朝の換気指数とO_xの日最高濃度の関係



第10図 地方予報センター、地方大気汚染気象センターおよび主要汚染源の位置図

第8図と第9図は東京都内におけるO_xの日最高濃度と朝の混合層高度および換気指数の関係を示す。これらの図から、明らかにO_xとMDの関係はあまり良くないが、O_xとVIの関係はかなり良くなっている。

3. 大気汚染気象センターの予報業務

第1章で述べた如く、1960年以後の日本の大気汚染は悪化の一途をたどり、とくに1970年の東京立正高校事件がけい機となって、1971年の東京、大阪をはじめとし、年々地方予報中枢に大気汚染気象センターが設置され、大気汚染防止または抑制のために気象予報を通じて地方自治体に協力するようになった。現在、地方の大気汚染気象センターは東京をはじめとし全国に6ヶ所*もある。第10図はこれらの位置と主要な汚染源を示す。

これらの地方センターでは第2章で述べたようなその地域の都市汚染の特性をふまえて、気象予報および大気汚染気象ポテンシャル予報を実施している。東京を例として、地方センターにおける予報業務のあらましを次に紹介する。第11図は東京センターにおける大気汚染気象予報の流れ図である。

(1) 天気予報

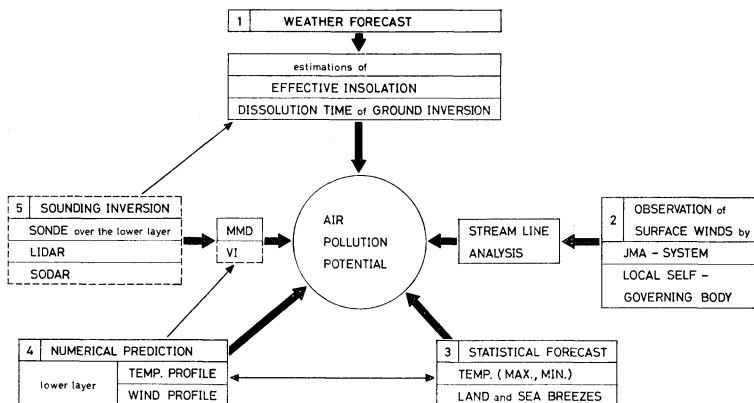
大気汚染気象予報のための天気予報は、現在の総観スケールよりきめの細かい、いわゆる、都市スケールの予報が望ましいが、時間スケールを12ないし24時間に限定すれば、かなりの精度を保っているので不満足ということはない。したがってこの情報から都市上空の天気推移を日中について表現できれば、接地逆転層の解消に必要

VI (m²/s) は換気指数を表わす。なお、MD は2000m以内に逆転層があればその下部の高さとし、ない場合は無限大としている。また、

$$VI = MD \times V \quad (1)$$

とし、Vは混合層内の平均風速を表わす。

* 1976年度に札幌新設



第11図 理想的な大気汚染気象予報業務の流れ図

な有効日射量の推定が可能であり、一方、下層大気に関する観測からこの逆転層の解消時刻も予報しうる可能性が秘められている。

(2) 流線解析

この解析のために使用しうる観測点は関東地方だけで198地点（気象官署20点，地方自治体178点）あるので，海陸風スケールの流線解析には有効である。したがって海風前線の現われる日の出後，数時間ごろから毎時の解析を行なえば，海風前線の追跡が可能であり，その結果汚染気団の推移もある程度予測できる。

(3) 統計的予報法

先述した如く，大気汚染との係わり合いで最も重要な気象要素は風と気温であるが，都市スケールでこれらの量を予想するには，統計的方法（選別法）によるのが最も実用的であろう。

(a) 風

野本ら（1969）は羽田国際空港のトレンド予報のために選別法によって次のような重回帰式を開発した。当日9時の観測値によって構成される予報因子から向う12時間における3時間ごとの平均風速は次の様に求められる。

$$\begin{aligned} \bar{W}(10 \rightarrow 12) = & 0.5X_{25} + 0.1X_{43} + 0.01X_{24} \\ & + 0.1X_{42} - 0.1X_{39} - 1.9 \end{aligned} \quad (0.79)$$

* 6層ファインメッシュ（152.4km）のプライミティブモデルによって各層ごとに算出されるプロダクトのうち950mb～600mb層のものを対象としている。

$$\begin{aligned} \bar{S}(10 \rightarrow 12) = & 0.5X_{26} - 0.3X_{63} + 0.2X_{43} \\ & - 0.1X_{38} - 0.2X_{22} + 1.1 \end{aligned} \quad (0.93)$$

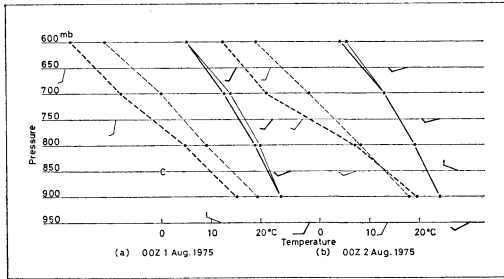
この後のステップに対しても，上と同じ形をとるが，ここには具体的に示さない。なお，ここで，被予報因子の \bar{W} ， \bar{S} はそれぞれ東西成分（西が正），南北成分（南が正）を表わし，またカッコ内の数字は平均風の時間間隔を示す。例えば， $\bar{W}(13 \rightarrow 15)$ は13～15時の平均風の東西成分を意味する。なお，各回帰式の末尾のカッコ内の数字は解析期間における重相関係数である。

さて，これらの予報式はすべて5個の予報因子で構成されているが，これらは87個の仮予報因子から選別されたものであり，その因子の対象となった気象要素はおおむね次の通りである。安定度，上層の風，上層の気温変化量および露点差，地上の風，地上の気圧および気温変化量，地上の露点差，水平気圧および気温傾度，発散，うず度などである。

この予報式は羽田における風のトレンドを求めるものであるが，この方法を東京およびその他の汚染都市に適用すれば有効なことはいうまでもない。現在，東京について開発中である。

(b) 気温

風の場合と同じように，新井（1975）は東京における予報当日の最高気温および翌日の最低気温に影響を与える気象要素としてそれぞれ60個の仮予報因子をえらび，選別法によって，次のような4個の予報因子によって構成される重回帰式を季節別（冬，夏，春秋）に求めた。ここには夏の場合を例示する。なお，仮予報因子の対象になった気象要素は，前日21時と当日9時の気温，露点



第12図 1975年8月1日00Zと2日00Zの東京ポイントにおける気温と風に関する予想値(T=24, 細線)と実況値(T=0, 太線)の比較, 実線はT-曲線, 破線はTd-曲線, 矢羽根一本は風速1m/sを表わす。

温度, 風に関する電計初期値, および東京における当日の最低気温, 朝6時の気温, 当日の日照時間などである。

最高気温 (Tx)

$$T_x = 0.69T_m(\text{当日の最低気温}) + 0.36S(\text{当日の日照時間}) + 0.33T_{90}(\text{当日9時の900mbの気温}) - 0.08T_{d60}(\text{当日9時の600mbの露点温度}) + 4.28$$

重相関係数=0.938, 標準誤差=1.3°C

最低気温 (Tm)

$$T_m = 0.42T'_{90}(\text{翌日9時と当日21時の900mb気温の平均}) + 0.33T_{15}(\text{当日15時の地上気温}) + 0.14T'_{d90}(\text{翌日9時と当日21時の900mb露点温度の平均}) + 0.08W'_{95}(\text{翌日9時と当日21時の950mbの風速m/sの平均}) + 1.12$$

重相関係数=0.91, 標準誤差=1.2°C

(4) 数値予報

大気汚染気象予報業務にとって必要な気象情報は主として中層以下に限られるので, 数値予報によって算出される資料を次のように制限して活用している。

入手できる資料は, 下から950mb, 850mb, 750mb, 650mbの風および900mb, 800mb, 700mb, 600mbの気温および露点温度である。これらは毎日00Zと12Zを初期値とするそれぞれ予報時間, T=0, T=12, T=24時の値である。第12図は1975年8月の東京ポイントにおける00Zを初期値とするT=24時の予想値(細線)と実況値(太線)である。安定した気圧配置とはいえ, 無作意に抽出したケースとしては十分な精度を保っていることがうかがえる。地方の予報業務をバックアップするために, 第10図に示されるような地方センターの直近格子点の値(00Zのみ)を毎日, 主として地方センターに

通報している。

第12図から明らかな如く, 最も重要な接地層の気温分布が欠落していることはわれわれにとって大きなデメリットである。先述した客観的地上気温予想を基礎にして, この900mbと地表との接続法を研究中である。

(5) 接地逆転層の探測

夜間放射を成因とする接地逆転層および比較的下層に存在する場合の前線性逆転層はともに自由大気に対して地表境界層を閉塞する, つまりリッドの役割を果たすため, 著しくこの付近の大気の滞留性を強化し, 大気汚染を助長するので重視されている。したがって, 都市上空の大気下層(約2000m)の適時観測は, 大気換気指数の予測を含み, これら逆転層の推移の予測に対して手掛りを与えるものである。

この観測の方法には, 大気汚染気象業務のために開発された低層ゾンデ, ライダ(LIDAR)およびソーダー(SODAR)などがある。これらについて概略説明すると, 低層ゾンデは大気下層に対して100mごとに気温を探測し, 風のプロファイルはパイパルの併用で補っている。高度のキャリブレーションは計画上昇速度によっている。これらの便宜的な措置は主として経費負担を押えるためである。ライダおよびソーダーは逆転層付近に集中し易い大気中の浮遊微細物質およびPLOB(逆転層を構成する直径20cmの仮想的媒質)のため, それぞれの発信器から放射されたレーザー光線および音波がこれらの物質に衝突して散乱し, その散乱還元波を地上受信器が捕えることによって, 逆転層の位置と強さおよびその時間的変化などを探測する。

今のところ, これらの観測法は主として調査研究の段階で活用されているにすぎない。

むすび

この報文を作成するに当たって, 貴重な御助言をいただいた気象庁予報課の新井豊治, 野本真一, 解析資料を提供された環境庁, 東京都および製図に協力された福田剛の皆さんに深く感謝します。

文 献

新井豊治, 1976: 大気汚染気象予報指針, 気象庁予報部発行予定。
池田有光・中島暢太郎・梅木雅幸, 1974: 流動する汚染気塊への光化学反応式の適用, 天気, 21, p. 517-525。
中島暢太郎, 1975: 大気汚染(近藤次郎編), □□

ナ社, 東京都, p. 60.
 佐々木良一, 1974: 大気汚染気象予報業務について,
 測候時報, 41, p. 277-284.

東航予報課 (野本眞一他), 1969: 12時間以内の視
 程・風向・風速の予報, 飛行場予報資料, No. 8,
 p. 6.

第18期第13回常任理事会議事録

日時: 昭和51年1月26日 14:00~17:00
 場所: 気象庁観測部会議室
 出席者: 小平, 浅井, 朝倉, 大井, 奥田, 河村, 北
 川, 高橋, 二宮, 丸山各常任理事
 川村理事

報告

庶務

12月22日, 文部省学術局長から昭和50年度科学研究費
 補助費(研究成果刊行費)の支出についての通知がきた。
 (金 1,120,000円, 12月24日受領)

議題

1. 第10期地球物理学研究連絡委員会委員(気象分科
 会委員)の推薦について

次の者を推薦することを承認。

毛利圭太郎, 須田 建, 神山恵三, 孫野長治, 田中正
 之, 岸保勘三郎, 磯野謙治, 山元竜三郎, 沢田竜吉

2. 天気編集事務について

担当理事から編集事務態勢を強化する必要があると認められ
 た。しかし経費の増加が余儀なくされるが、「天気」に
 大幅に広告を掲載し, その収入増により編集を円滑に運
 営して行くことを承認。 広告取扱業務は, 科学技術社
 で, 庶務理事が同社と契約書の取り交わしの事務手続を
 する。

3. 会員名簿の作成事務について

異動があった会員は, なるべくすみやかに「天気」に
 はさみ込みの異動届により報告して貰うようにすること
 を承認, 様式は, 庶務理事と事務局とで決定する。また
 各支部長へも理事長名で異動がわかり次第報告して貰う
 よう依頼文書を出す。

4. 気象集誌のページチャージについて

最近世界的な傾向として論文は, 割合長く詳しく書く
 ようになってきており, 現行のページチャージの方式だ
 と長い論文は非常に高価になる。 改定案について全理事
 の意見を書面で求める。

現行制度		新提案	
ページ数	チャージ	ページ数	チャージ
1~4	0	1~12	3,000円/ページ
5~8	4,500円/ページ	13~以上	9,000円/ページ
8~以上	9,000円/ページ		

“構造物の耐風性に関する第4回シンポジウム”の開
 催に賛同することとし運営委員2名を推薦することを承認。

承認事項, 田坂郁夫ほか26名の新入会員を承認。