

# 最近のアメリカにおける大気汚染の 研究活動\*

Donald H. Pack\*\*

この報告は、1969年11月13、14日ワシントンで開かれた「天然資源の開発利用に関する日米会議大気汚染専門部会第4回日米合同パネル会議」に、アメリカ側気象代表メンバー D.H. Pack 氏によって提出された報告から訳したものである。なお、日本側代表としては、気象研究所桜庭信一博士が出席した。

(訳者 串崎利兵衛\*\*\*)

## 1. 実務協力活動

国の段階—ESSA (Environmental Science Services Administration) 気象局の国立気象センターは、合衆国の大陸48州について引続き大気汚染ポテンシャル情報を発表している。この数か月の間に、新しい気象予報モデル(6層プリミティブ方程式モデル)がルーチンの数値予報の基本になった。この進歩した数値モデルを使うことによって、大規模な停滞性の気象状態について一層多くの情報が与えられる。地面から30mb上のレベルにおける垂直運動、含水量、プラネタリ境界層の風などのようなパラメーターを入手できるようになった。この新しいデータを利用して、高濃度汚染ポテンシャル地域の範囲をはっきりさせたり、同じ地域内とか高濃度時ごとのポテンシャル強度の違いを判別したり、さらには長期に及ぶ高濃度の持続時間や中断をうまく予想する等々のための研究が続けられている。

地方段階—1968年7月から1969年7月までの間に、ESSA 気象局の手で全く新しい実務プログラムが始められた。NAPCA (National Air Pollution Control Administration) からの財政援助を受けて、ニューヨーク・ワシントン・フィラデルフィヤ・シカゴおよびセントルイスの5か所に「環境気象協力班(EMSUs)」が配置された。この班は、大気汚染気象の専門教育を受けた気象専門官1名と気象技術員3名とで構成されている。また、これらの都市における大気換気状態をよく把握する

ために、1日2回の「都市内」の気温と風の垂直観測をするように装備されている。小改良を施した403メガサイクルの携帯用ラジオゾンデ装置で観測され、風のプロファイルを得るには、目視による経緯儀が使われる。現在各事務所には、移動用観測車が配置されることになっており、これは完全装備の移動用高層観測所となることだろう。事務所の多くは比較的都市の影響を受けない空港にあるが、この機動性によって、必ずしも事務所のある所ばかりでなく、都市の中心近くでの観測が可能となる。郊外と建造物密集地帯との違いとか、海風前線とその付近との違いとか、そのほか固定観測所では果されない現象調査を行なうために、観測は市内のいろいろな場所で行なうことができる。気象専門官は、その地方の中心都市やその地方についての大気汚染ポテンシャル予報を毎日作成する。この予報は、国立気象センターから出される数値解析資料や自身で行なう低層観測、気象局の各予報官署による一般天気予報、メソスケール気象データおよび各地域について開発されたモデルなどに基いて作られる。さらにニューヨークやシカゴのように、気象データも含めた大気汚染観測網があるところでは、このデータもまた予報の改善のために利用される。

このプログラムは大気資源研究所の気象技術者が任命されている NAPCA の気象部によって、ニューヨーク・セントルイスおよびシンシナティで行なわれた大気汚染の都市モデル・地方モデルについての数年間にわたる研究成果として開発されたものである。環境気象協力班の気象技術者自身もまた、関係気象パラメーター(風向・風速・垂直混合など)のメソスケール変動を予報する新しい技術の開発研究をやっている。

\* Recent Air Pollution Meteorology Activities in U.S.A.

\*\* Deputy Director, Air Resources Laboratories, ESSA, U.S.A.

\*\*\* 気象庁産業気象課  
—1970年2月13日受理—

## 2. 都市境界層の研究

トレーサー実験の結果と都市拡張モデル相互間の比較研究によると、トレーサーが都市上空を通過する際の境界層の構造の変化を観測し、解析する必要があることがわかった。このような情報の必要性が特に強いのは、都市の影響がマクロな気象パラメーターよりも大きく効く風の弱い場合とか、地上煙源からの垂直の広がりや適確に決める場合とか、汚染質の光化学変化・粒子汚染質の吸着・放射フラックスの分散などのような過渡効果を組み入れた進んだ拡散モデルを開発する場合とかで、都市内とその近傍での高い煙源の効果を評価するときである。風下における「都市ヒートブルーム (heat plume)」を検出したシンシナティにおける研究に続いて、この2年間にオハイオ州のコロンブスやカリフォルニア州のロスアンゼルスで一連の探測調査が進められた。後者の2つの実験は、1969年3月と9月～10月に実施され、その結果の解析はまだ完了していない。この実験では観測プログラムを拡充するために、新たに大気資源研究所から数グループが参加した。

オハイオ州コロンブス—この研究の第1目的は、「都市ヒートアイランド (heat island)」の垂直・水平の広がりを調べ、都市を通る風のプロファイルがヒートアイランドの強度によってどのように違うかを観測することである。これまでの既存のいろいろな観測技術を都市観測プログラムにどの程度うまく使えるかを検討するのが次の目的であった。都市の風上、その中、風下での風のプロファイルがパイロット2点観測で頻繁に観測された。ヘリコプターによる気温と大気成分のプロファイル観測は、都市全域にわたって行なわれた。自動車を使った地上気温の縦断観測は、風向に沿った方向とこれに直角な横方向に沿って、全市内にわたって行なわれた。通常の地上風観測装置が用いられ、パイペンを試験的に高層建造物の屋上に設置した。垂直気温プロファイルを得るためには、係留気球も使われ、郊外や都市上空での気流の流跡や3次元風をつかむために、(テトルーン)—(レーダ)—(トランスポンダー)の組合せによる観測方式をよく利用した。

カリフォルニア州ロスアンゼルス—この実験では、半恒常的逆転層の高さが一番低くなる秋の季節におけるロスアンゼルス盆地上の気流の3次元流跡線を求めるように計画された。この流跡線は(テトルーン)—(レー

ダ)—(トランスポンダー)方式を使って決められた。レーダはロスアンゼルス盆地を見おろすスパー山の上に設置し、テトルーンは海岸地帯の数か所と市街路密集域の中心とから放球した。あとの場合の放球は、高濃度の自動車排気ガスを運ぶ空気の動きを追跡するのがねらいである。

この実験の非常に大切な特色は、オキシダント・オゾン・気温・湿度および気圧などを測定記録するヘリコプターに取付けられる特別に軽量の装置を開発したことである。われわれの知る限りでは、この実験で、これまでは測定されたことのない種類の資料が得られた。ヘリコプターはテトルーンの動きに従って、水平および垂直にこれを追跡し、これによって着目する特定気塊の汚染質とその移動につれての変化を測定した。さらに、汚染で視程が悪化している状態における都市中心部上での地上近くから逆転層上限までのこれらデータの垂直プロファイルも得られた。このようなデータは、ほかの航空機を使ったのでは得られないものである。この結果はまだ分析されていないが、上空では極端に高濃度のオキシダントが観測されている。2 km 以下の全水平飛行距離に対して、3～6時間もの記録となった。また、海風「前線」における垂直運動と大気成分のデータも測定された。

## 3. 気象要素の遠隔測定

大規模な都市汚染源や高温排煙の大型発電所、あるいは長距離(50～500km)に及ぶ大気の希釈問題に対する関心が高まっている。このため、大気の深い層にわたって風と気温を頻繁に詳細に観測する必要性がますます強くなっている。固定あるいは自由気球や航空機を使う現在の技術でも、これらのデータを与えてくれるが、これらの方法は全天候向きではないし、経済的な費用もかさみ、都市内のように場合によっては適用できない。レーダに類似の方法で大気を遠隔探測する考えは、非常に魅力的である。NAPCAは気象部門を通して間接探測技術に関する研究を支援している。

気温—いろいろな気温・天気あるいは汚染状態のもとにおける工学規格試験型\*のミリメートル波長の放射計(54～55ギガサイクルで作動)の性能を決めるために、野外テストが種々の環境条件で行なわれている。これと並んで、「放射輝度\* (radiation brightness)」の観測から、それを気温(「反転\*」問題 (inversion problem))に置換する理論的問題の広い研究が進められている。この野外テストでは、放射計から求められたプロファイルと

\* は、訳者として適訳がないか、具体的内容がよく理解しにくい部分

ラジオゾンデ、ヘリコプターおよび係留ゾンデによる気温プロファイルとを比較することも行なっている。これまでの資料では、不安定状態と接地気温逆転を持つプロファイルのときに、今後期待してよいほど立派な一致をみせている。地表から離れた高い所の逆転の検出に問題があって、いま盛んに検討が加えられている。

風—ESSA 研究所の波動伝搬研究部は、気象部門と協力して、遠隔測風技術の研究を行なっている。この研究の目標は、測風の理論上有望視されている音響と電磁のスペクトルの各部分を評定し、装置と数学的技術に関する学問の現状を理解し、今後さらに研究開拓すべき分野を勧告することである。オーストラリアで開発された「音響レーダ」技術は、有望な可能性を持ち、研究所の気象部も、ESSA の気象局も、試験装置の開発と野外テストを援助している。

#### 4. 大型発電所の排煙研究

高煙突（発電所屋舎上250～350m）から排煙する大型石炭火力発電所（1000メガワット以上）の急速な発展と増加は、気象学的研究を拡大する必要性をもたらした。排煙上昇、大規模「フューミイゲーション」、数煙源からの相互作用による高濃度および長距離運搬と希釈等々の問題は、テネシー Valley Authority による事前調査の拡充となり、西部ペンシルバニアにおける3つの大電力発電所集合地域での新しい研究にまで発展した。これらの研究（LAPPES）は、夜間安定時と昼間対流時の間の過渡時期における排煙の風下運搬問題に集中している。煙濃度とその分布の広範な測定が、ヘリコプターを探測用に使って実施されてきた。煙の下での地表濃度を求めるには、移動用地上採集観測網が使われた。

粒子状ばい煙の質量とその大きさの資料が収集され、ライダーを使ってそのばい煙検出能力が調べられている。

最近の新しいプロジェクトの開始によって、新たな研究分野が与えられた。この中にはこれらの大発電所にしばしば付設されていることの多い冷却塔によって引き起こさせる環境変化の影響の研究が含まれている。すなわち、SO<sub>2</sub> のウォッシュアウトとか、この機構による地上の汚染ポテンシャルの推定、あるいはアイソトープ比追跡技術\* (isotopic ratio tracing techniques) を利用したSO<sub>2</sub> の「減衰」の予備調査などである。

#### 5. 多重汚染源拡散モデル

1969年10月27～30日に、北カロライナ州ローレイで開かれ、最近終わったばかりの「多重汚染源拡散モデルに関

するシンポジウム」は特にこの主題を掲げ、国際的な参加も多くあった。会議の議事録は発刊配布されるはずであるから、ここでは多岐にわたるこれらの話題をごく簡潔に述べておく。非定常な気象状態とか、光化学的変質などの効果を入れた2次段階モデル\* (second generation model) を開発する準備が始められている。

**Discrete sub-area\*** の問題がはっきり認識され、この方面の問題を検討するための研究契約が始まった。実地に応用することを目的として、2つの主要なモデル化研究が計画された。この研究の中には、進歩した計算機のハードウェア・ソフトウェアのことはもちろん、煙源強度とその変動、汚染測定および規制措置の決定のように単に気象ばかりでなく、全システムの他の要因に関することも包含されている。アルゴン国立研究所で作られたSO<sub>2</sub> の「シカゴ拡散モデル」は、いまテストを受けている。都市発展に伴うCO 分布のポテンシャルを見積ることができるモデルを作成するため、スタンフォード研究所による普遍的な研究が進んでいる。非常に実用的で、有益な応用性を備えたある一般的な拡散モデルが、NAPCA が1967年の大気清浄法に基づいて現在指定しようとしている「大気管理地域」の範囲をはっきり規定するための補助手段として、ルーチンに利用されている。このモデルでは、気象入力としての各拡散度・風速・垂直混合層の深さを決めるために、気候データを利用する。これによって、「大気管理地域」に含まれると考えられる地域におけるいくつかの汚染質（SO<sub>2</sub>、浮遊ばい塵、CO）の季節分布を計算する。

#### 6. 汚染質の地球物理学

大気中の組成傾向を決めたり、天気や気候や生物界への影響を評価できるようにするために、大気を監視し、理論的調査を行ない、研究室と野外での実験を行なうなど、広範な5か年プログラムに発展するとみられる研究が発足した。

混濁度—簡便安価で携帯用のサンフォトメーター (sun-photometer) による観測網を展開して、5000Å 帯での大気混濁を測定する合衆国プログラムが開始されたのは、1960～1961年にかけてであった。これらのデータによって今や合衆国全土にわたる大気混濁気候ができ上り、季節、地理および気団の違いによる混濁度を表示している。この独特の蓄積資料の究極の効用は、合衆国における大気のエアロゾル負荷傾向を評価できることにあるだろう。また、都市域における日々の微粒子含有量と、その場所の関係位置や季節、気団から気候学的に期

待される平均値とを比較することにも、直接実用的な価値がある。この混濁度プログラムでは、統一された測定機器を用い、計画的な検定・保守管理を受ける観測所を世界的規模で配置するまでに発展拡大されようとしている。

炭酸ガス—NAPCA はマウナロア山観測所の貴重な記録を保持するために CO<sub>2</sub>、採集装置を近代的に改良し、この観測所の運営面で ESSA を援助している。

日射—NAPCA は、マウナロア観測所に最新の多重帯域日射測定装置を設備することを支援している。この新しい装置では、単位時間の放射測定可能回数を増加して、速いスペクトル走査と良質のデータ記録が可能になるような、高速近代的、計算機向きのデータ整理システムを持つことになろう。

地球規模の監視—衛星装備の測定器、およびこれらシステムの全球的走査能力を備えたテレメーター方式の急速な発達によって、汚染質の真に全球的な監視が必ず可能になるとみられている。そこにはもちろん面倒な問題も存在しているが、ごく最近になって、このような監視の実現性を確かめるための一つの大きな研究が NAPCA とウィスコンシン大学の V. Suomi 博士との共同で着手された。

### 7. 大気汚染ポテンシャル研究

「精度のよい」定量予報方式を開発しようとする懸命な研究が続けられている。進歩は遅いけれども、前述のように、より高度なモデルによる数値天気予報技術を利用することは有望である。全合衆国のラジオゾンデ資料の徹底的解析によって、合衆国の「希釈」気候を開発させる面で、かなりの進歩がとげられた。これらの資料によって、混合層の高さ・持続時間・空間分布と風速、各クラスの「高濃度汚染」状態の発現度数および「規準化された」都市希釈能力指数などの情報が与えられた。近く刊行の運びとなるはずのこれらデータは、大気管理の地方計画の実用手段となることはもちろん、気候学に対する重要な貢献となるだろう。

### 8. 原子力(核反応炉)気象

原子力委員会の主管で1948年に開始された研究プログラムでは、次の点にその重点を置いていた。すなわち、数か所の国立研究所(オークリッジ、ブルックヘブン、アルゴン、ハンフォード)にそれぞれ特有の問題とか、大気境界層内での物質の拡散を研究する気象技術者の数を増加すること、あるいはその当時まではおもに合衆国以外の気象屋によってなされていたこの分野の広範な研

究を理解し消化することなどである。近年になってからは、これらの問題について研究を続ける気象学者と、もっと一般的な都市や産業の大気汚染問題で働く気象技術者の関心が一層合致するようになった。

原子力委員会が主管している仕事の多くは、ずっと原子炉という単一汚染源の問題に向けられている。排出直後の希釈に作用する建物の効果についての研究は、フィールドと、その結果と直接の比較ができるような条件を備えた風洞内との両方で行なわれている。放射性原子核、特に化学反応物質の廃棄は、研究室内と野外実験によって調査されている。

しかしながら、研究の多くは直接都市大気汚染に関係したものか、あるいは特別に上記の問題に向けられたものである。観測網が確立され、この観測所は拡散実験を補助するために、リアルタイムで運営されている。計算機を使って、リアルタイムで風場を解析して、空気の流れ線を作るための理論的、実験的研究が目下進行している。この方式のテストでは、正確な流れ線を得るために、(テトルーン)—(レーダー)—(トランスポンダー)方式を使って行なわれることになるだろう。都市状態の研究のための観測に当って、計画上必要とされる諸要求に定量的根拠を与えるために、大気境界層の理論研究が再検討されている。排煙上昇実験とその資料が組織的に実施、収集され、このデータは熱放出と乱れによる空気混入(entrainment)を考えた物理的に完全な上昇公式についてテストされた。この研究は、今や流体モデル化技術によって「無風」状態のケースにまで拡張されている。熱収支と水収支を明確にするための都市域の数学モデルが研究されている。

### 9. 結語

これまで述べられた研究活動のほかに、これに補足すべき多くの大気汚染気象の実際的な応用例がある。いくつかの州では、大気汚染管理庁とか、保健局の職員として、気象技術者をかかえている。数か所の都市では、気象職員を雇い、そのうちのいくつかでは、気象パラメーターの観測も行なう汚染監視網を敷いている。気象状態を有利に利用することを計画している特殊な産業活動の数は増加している。製材作業から生ずる木材屑のしゅう却による廃棄処理は、その一例である。この場合には、風向と大気希釈作用によって、付近の居住地に運ばれる煙の量が一番少なくなるようなときを選んでしゅう却作業が計画される。気象情報を必要とする問題がますます複雑になり、その実際の応用事例が増加していることか

ら、大気汚染気象技術者の数をふやすための教育と同時 れている。  
に、要請にかなった理論的、実用的研究面の努力が望ま

### 参考刊行物

#### Operational Air Pollution Meteorology

The Air Pollution Potential Forecast Program-Tech. Memo WBTM-NMC 43 Stackpole, John C., November 1967.

The National Air Pollution Potential Forecast Program-NMC Office Memo, May 8, 1969.

Provisional Instructions, Low Level Soundings-ESSA, Weather Bureau, Data Acquisition Division, May. (23, 1969.) (as revised).

Federal Meteorological Handbook # 3, Radiosonde Observations Dept. of Commerce, Dept. of Defense, January 1, 1969.

#### Urban Boundary Layer Studies

St. Louis Dispersion Study, Vol. II-Analysis-U.S.DHEW,PHS (NAPCA) J.L. McElory and F. Pooler, December 1968.

A Meteorological Analysis of Carbon Dioxide Concentrations measured at a Rural Location, John F. Clark, (NAPCA) Reprint from Atmospheric Environment, Vol. 3, pp. 375-383, Dec. 1968.

Analysis of low-level, constant volume balloon (tetron) flights over New York City W.A. Hass, W.H. Hoecker, D.H. Pack, and J.K. Angell, Reprint from the Quarterly Journal of Royal Met. Society, Vol. 93, No. 398, Oct., 1967.

A Comparative Study of Urban and Rural Dispersion, J.L. McElory, Air. Resources Cincinnati Laboratory, Reprint from Journal of Applied Met., Vol. 8, No. 1, Feb. 1969, pp. 19-31.

#### Remote Sensing of Meteorological Elements

Radiometric Thermosonde-An Operational Prototype Millimeter Radiometer for Measuring Temperature Profiles within the first 1.5KM Above Ground, Thomas, J. Lemmons and Charles R. Hosler, NAPCA.

#### Large Power Plant Studies

Tall Stacks, Various Atmospheric Phenomena, and Related Aspects, U.S. DHEW, PHS (NAPCA), May 19, 1969.

#### Tall Towers and Single Source Applications

Wind Measurement on a Tall Tower in Rough and Inhomogeneous Terrain David H. Slade, Reprint from Journal of Applied Met., Vol. 8, No. 2, April 1969, pp. 293-297. (ARL Silver Spring, Md.)

Low Turbulence Flow in the Planetary Boundary Layer and Its Relation to Certain Air Pollution Problems, D.H. Slade (ARL, Silver Spring, Md.) Reprint from Journal of Applied. Met., Dec. 1968.

Operating Experience, E.N. Cramer; A Shift Supervisor's Introduction to Practical Local Meteorology, S.D. Swisher, USAEC, Oak Ridge National Laboratory, Reprint from Nuclear Safety, Vol. 10, No. 5, Sept. Oct. 1969.

Wind Persistence Probability-Tech. Memo ERLTM-ARL 10 Van der Hoven, Issac, February 1969.

#### Geophysics

Atmospheric Turbidity over the United States, 1961-1966, E.C. Flowers, R.A. McCormick, K.R. Kurfis, NAPCA-to be submitted to Journal of Applied Met.

#### General

Spread of Small Smoke Plumes, Steven R. Hanna, B.A. Hutchison, F.A. Gifford, Jr., Tech. Memo ERLTM-ARL 15, July 1969.

A Lagrangian Study of Helical Circulations in the Planetary Boundary Layer, J.K. Angell, D.H. Pack, and C.R. Dickson (ARL-Silver Spring) Reprint from Journal of Atmospheric Sciences, Vol. 25, No. 5, Sept. 1968.

The Effect of a sudden change in terrain height on the three-dimensional low level air flow, as estimated from tetron flights W.H. Hoecker and J.K. Angell (ARL-Silver Spring) To be published in Monthly Weather Review, December 1969.

FY 1968 Summary Report of Div. of Meteorology Support to the NAPCA, USDHEW-Tech. Memo ERL-TM-ARL-12, March, 1969. (ARL-Cincinnati Lab.)

Atmospheric Transport and Diffusion in the Planetary Boundary Layer-Tech. Memo ERLTM-ARL 14 (ARL Silver Spring) June 1969.