

全地球的規模の大気汚染とその監視組織の設立*

川 村 清**

1. はじめに

一世紀以上も前に、すでにいくつかの産業化された都市で、大気汚染は人体に悪影響をおよぼすことから、社会問題になっていた。しかし、数10年前まで、汚染が都市周辺の田園地帯にまでおよび、これが問題となるようなことはほとんどなかった。それが第二次世界大戦以降、人類がこれまでかって経験しなかった大規模の産業化、都市化と人口の急激な増加により、最近の大気汚染域は拡大され、産業国の田園地域のみならず開発途上国にも起っている。

最近まで、人為的な汚染源から放出された各種汚染質は降水の浄化作用により、また無限量の大気、水、土壌への混入により、消散すると考えられていた。ところが、海洋上や極地方での観測結果によれば、人為的な発生源に起因するある種の汚染質の濃度が最近急速に高まりつつある。このことは環境の浄化能力が有限だということを示す。人類の生活活動は都市の気象や気候を改造してきたが、現代ではこれまでかってなかった莫大な量の化石燃料の消費によって、無意識に全地球的規模の気候改造を進めている。

気象や気候への影響が大きい汚染物質として、エロゾル、炭酸ガスが取り上げられている。また、ある種の汚染質、すなわち、フッ素、鉛、発ガン性物質、核実験の際に生成され、あるいは産業のエネルギー源として利用されている放射性核種などは非常に低濃度でも有害である。しかし、人為的汚染源から大気中に放出されている汚染質の多くは、ながいあいだに、生物や環境にどのような影響をおよぼすかがわかっていない。人間は性状のわかっているものについては、その対策を講じるだろ

う。この意味から、これまで大気中に存在しなかった全く新しい物質、またその影響が明らかにされていない物質に注目することが大切だともいうことができよう。

ここで取り上げるのは人為的な汚染源から遠くへ離れたところの大気の汚染〔バックグラウンド (BG) 汚染、または全地球的規模の汚染とよぶ〕である。そこでの汚染質濃度は一般にきわめて低く、都市域における値の1/10から1/100程度である。したがって、汚染質を測定することが技術的にもむづかしい場合が多い。さらに、この地域における観測資料はきわめて少なく、各種汚染質の濃度の実体はあまりわかっていない。

大気汚染がわれわれの生活環境におよぼす影響を究明しようとしても、それが起る前の状態がわかっていないと、両者の因果関係を明らかにすることは困難になることが多いであろう。最近、WMO はこんご長期間にわたる汚染監視のための観測網の設立をメンバー国によびかけてきたし、1970年から一部の国ではすでに実行に移されている。立ちおくれのきらいはあるが、大変よろこばしいことである。BG 汚染の監視業務は汚染の実体を明らかにするため、また将来の汚染度を予測するために、きわめて重要なものである。公害国ニッポンの気象庁は、専門家からの強い要望があったにもかかわらず、これまで積極的な前向きな姿勢を必ずしも示さなかったが、最近ようやく重い腰を上げかけてきたように感じられる。一年も早く国内に観測所を設立し、国際協力することが急務だと考える。

ここでは BG 汚染の実体、WMO の計画した BG 汚染監視業務についての概要と、わが国の監視体制はいかにあるべきかについての私見を述べる。

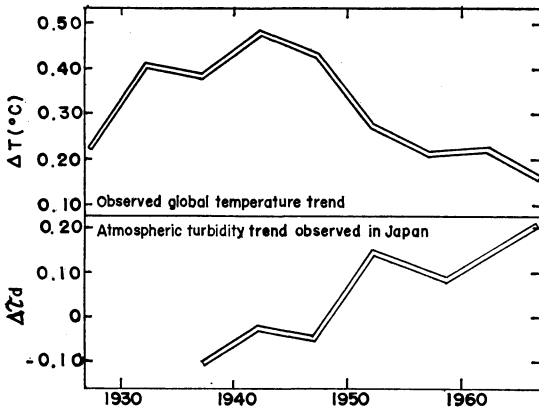
2. BG 汚染の実体

2.1 エロゾル

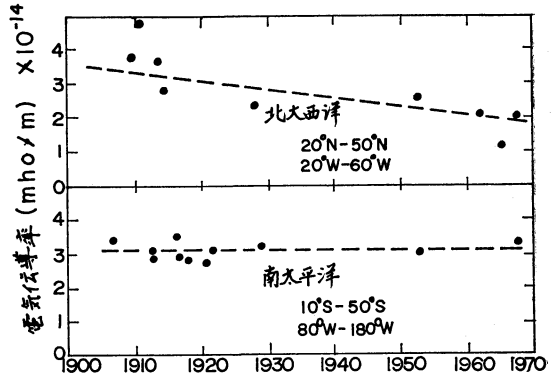
放射を反射させ、また吸収する能力をもつ大気中のエロゾルは気候に及ぼす影響が最も大きく、しかも気温を低下させるように働くと考えられている。近年、人為的な発生源の加速度的な増加にともない、大気エロゾ

* Air pollution on a Global Scale and the Establishment of its Monitoring System. 本稿の詳細については「気象研究ノート」第108号（環境汚染特集号）、(1971)を参照されたい。

** K. Kawamura 気象研究所地球化学研究部
—1971年4月1日受理—



第1図 大気混濁度と全地球的な気温のすう勢 (NCAR の報告, 1970)



第2図 北大西洋, 南太平洋における大気電気伝導率の永年変動(Cobb と Wells, 1970)

は年々ふえている。例えば、NCAR (1970) の報告は、過去30~40年間、日本で観測された大気混濁度と全地球的な気温のすう勢とが逆相関関係にあり、混濁度が増すと気温が低下することを示す図(第1図)をのせている。この結果から、これら2つの要素のあいだに因果関係があるときめつけることは許されないが、注目にあたいする一つの結果だといえよう。

Changnon (1968) は重工業都市シカゴの風下30マイルにある小都市 La Porte での1951~1965年における年降水量が周辺都市におけるよりも31%だけ多く、また La Porte における1925年以降の年降水量の年々変動がシカゴの鋼鉄生産量のそれとよく一致することを示した。これは工場から排出される媒煙が凝結核、あるいは水氷核のはたらきをするものとして興味がある。

山本ら (1970) は独自でつくった turbidity chart を用い、潮岬、札幌、東京で観測された直達日射の資料から、過去30数年間における大気混濁係数を計算した。この結果から、山本らは大気混濁度が、都市に限らず、日本周辺全域にわたって大きくふえていることを指摘した。戦後の日本は経済を優先させたら、環境はどんなことになるかの大規模な実験を、国をあげて行なってきたようなものである。それが山本らの結果に出ているように思う。

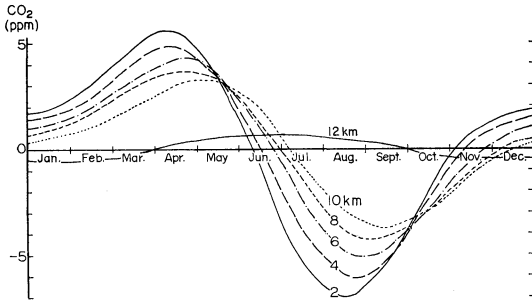
Misaki と Takeuti (1970) は、1966年10月、南極観測船“ふじ”に乗船し、東京湾を出てから、三陸沖を北上し、津軽海峡を通過して小樽に入港するまで(このあいだ天気は快晴)、大気電気伝導率を測定した。その結果、Misaki らは陸から船が離れるほど電気伝導率は高くなること、また陸起源の汚染粒子は海上かなりの距離まで

張り出し、その濃度は距離とともに指数関数的に減少することを発見した。

Cobb と Wells (1970) は、Carnegie Institution その他により、また彼等自身によって北大西洋上、および南太平洋上で観測された大気電気伝導率を整理し、これの永年変動をしらべた。その結果を第2図に示す。図から、南太平洋上の大気電気伝導率は過去60年のあいだほぼ一定に保たれているのに、北大西洋上ではこのあいだに少なくとも20%だけ減少していることがわかる。北大西洋上における電気伝導率の低下は、この海域の大気中に浮遊するエロゾルが北半球の人為的汚染源の増加にともなうて、ふえていることを示す。Cobb らによれば、このあいだに大気エロゾルは多分倍量にふえていることになるという。

エロゾル増加は対流圏だけでなく、超音速旅客機(SST)による成層圏汚染が大きな問題としてクローズアップされている。目下のところ、ソ聯のTU-144、イギリスとフランス共同のコンコルド、アメリカのB-2707がそれぞれ予定され、アメリカの場合を除き、就航予想年は1973~74年となっている。下部成層圏の水蒸気は、主として、熱帯地方の上部対流圏における大規模の大気上昇流によって運ばれ、流入速度は約 5×10^6 g/secである。SSTが1日に400機航行すると、これらは約150,000トンの水蒸気を下部成層圏に放出することになり、放出速度は約 1.5×10^6 g/secとなる。したがって、SSTによる放出速度は大気運動によってもたらされるものに似かよった値となり、大きな問題だと Newell (1970) は述べている。

大気混濁度や透明度の観測データのすべては、過去数十年以上にわたり、大気中のエロゾルが年とともに増



第3図 調和解析による高度別 CO₂ 濃度の季節変動 (Bolin と Bischof, 1970)

加の一途をたどっていることを示すが、しかしエーロゾルが正確にどれだけふえたかということはわかっていない。

2.2 炭酸ガス (CO₂)

地表面に近い大気中の CO₂ 濃度は観測点周囲の環境に支配され、1日のうちで大きく変動(315~約400ppm)するが、裸地、山地や海洋上ではこの変動はかなり小さい。大気 CO₂ 濃度には CO₂ 季節変化があり、春に極大値、秋に極小値をとる。

19世紀の中期以降、化石燃料の消費量は年々、特に近年、大幅にふえている。このため、また CO₂ の大気中での平均滞留時間が長い(数年)ため、人為的な発生源に起因する CO₂ が大気中に蓄積されつつある。大気 CO₂ は地球表面から射出される赤外放射を吸収するので、その濃度がふえると、地球表面からの放射による熱の損失が減り、気温は高くなる。WMO の大気汚染の気象学の問題に関する執行委員会パネルの報告 (EC-XXII/Doc. 23) によれば、大気 CO₂ が現在の倍量にふえれば、平均気温は 1.3°C 上昇する。

大気 CO₂ の永年変動については Callendar (1958) のデータがしばしば引用されている。彼のデータは、1870年から1957年までのあいだに、濃度が約13%ふえていることを示す。古い大気 CO₂ の分析値はその年代の代表値とは必ずしもいえないし、また測定精度がわるかったため、どれだけ本当にふえたのか明らかでないというのが正しいだろう。

Bolin と Keeling (1963) はハワイのマウナ・ロアで、1959~1962年、大気 CO₂ を観測し、その濃度は1か月に 0.06 ppm (=0.72ppm/y) の割合いでふえ続けていることを示した。

Bischof と Bolin (1966), Bolin と Bischof (1970) は、1963~1968年、ヨーロッパの主として極地方上空で

航空機により採取した空気試料中の CO₂ を分析した。その結果を第3図に示す。図から、CO₂ 濃度には季節変動があり、高さが増すにつれて振幅が減り、位相もおくることがわかる。下部成層圏(12km 高度)では CO₂ の季節変動がきわめて小さいことは興味深い。Bischof らの計算によれば、1963~68年の平均年増加率は 0.7 ± 0.1 ppm (1968年において 320 ppm) である。しかしながら、この期間中に化石燃料の消費により生産された CO₂ のすべてが大気中にとどまるとすると、大気中の CO₂ 濃度は 1.9ppm/y から 2.3ppm/y の割合いで年々ふえることになる。したがって、大気 CO₂ の増加量は全放出量の約 1/3 に相当する。大気中の CO₂ がふえると、植物の同化作用も増大し、CO₂ もより多く消費されると考えられるが、その量は多くて全放出量の 1/4 である。したがって、全放出量の少なくとも半分は海水に溶け込んだと Bischof らは考えている。

2.3 一酸化炭素 (CO)

CO は大気中にかなり含まれている(0.10~0.15ppm)が、これの天然源については、海洋説 (Seiler と Junge, 1970) もあるが、あまり明らかでない。これの人工的発生源のうちで最も放出量の大きいのは自動車であり、全世界における1966年の放出量は約2億トンと推定されている。

Pressman と Warneck (1970) の計算によれば、もし大気中から CO を除去する過程がなければ、大気 CO 濃度は1年に約0.05 ppm だけふえることになるが、人為的な汚染源から遠く離れた大気中での CO 濃度は、過去20年間、ほとんど一定(約0.11ppm)であると述べている。Seiler と Junge (1969) は航空機を利用して大気 CO を測定し、対流圏から成層圏に突入すると、濃度は約0.1ppm から 0.03ppm 以下に激減することを確認した。

Pressman らは Seiler らの結果を考慮し、成層圏内での CO の化学反応による除去過程を取り上げている。大気 CO の天然発生源や消費源、さらにこの濃度の経年変化などについてはまだ不確定であり、こんごの研究によって明らかにされなければならない。

2.4 亜硫酸ガス (SO₂)、窒素酸化物 (NO₂, NO)

SO₂, NO₂ とともに天然の発生源があるが、NO については明らかでない。大気中で、NO₂ は光分解して NO と酸素原子となる。また NO は共存するオゾンと反応して NO₂ を生成する。人工的には、よく知られているように、これらは主として化石燃料が燃焼するときに生

成される。

汚染源から大気中に放出された SO_2 は光酸化、あるいは金属イオン触媒による酸化で硫酸や硫酸塩になることがわかっているが、その酸化速度は小さい (Cox と Penkett, 1970, その他)。Georgii (1970) は水滴とアンモニアの存在で、 SO_2 は $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ となるとして、大気中の SO_2 と SO_4^{2-} の鉛直分布を説明した。汚染地域における SO_2 の半減期は、気象条件によって大きく支配され、20分から3時間程度である。大気中の NO_2 や NO についてのこのような研究は行なわれていないようである。汚染地域から離れた大気中での SO_2 や窒素酸化物は反応性に富むので滞留時間は短かく、おそらく、数日から10日であろう。したがって、これら汚染質が地球大気全域にわたって濃度が年とともに高くなることは考えられない。川村 (1968) は北太平洋上での観測から、大気 NO_2 のバックグラウンド・レベルは約 $1.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ だとしたし、Georgii (1970) は大西洋上での観測から、大気 SO_2 の場合は $0.5 \sim 1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ だと述べている。これらの値は都市大気中の濃度の約 1/100 に相当する。

3. WMO の計画した BG 汚染の監視業務の内容

BG 汚染監視の意義や、その業務の内容などについては、すでに串崎、原田 (1971) が詳細にわたって紹介しているので、ここではその概要だけを述べる。

WMO の専門委員会の一つである CAS (大気科学委員会) の作業委員会は、1967年、BG 汚染レベルの高まりの問題について討議した。その結果、汚染の実体をは握し、また長期間にわたって大気の化学組織を監視する必要があることから、このための観測網を設立すべきだという結論に達した。本作業委員会は、このことに関する情報をえるため、質問書を用意した。質問書は WMO から、1968年4月、加盟国に送られた。質問書に対する各国からの回答は上記作業委員会に検討され、勧告案が作られた。この案は1969年の第21回執行委員会に決議11として採択された。

1970年5月、大気汚染の気象学的問題に関する執行委員会パネルは決議11を拡大して“Baseline station”の概念を含ませるよう勧告した。

この勧告は1970年10月の第22回執行委員会で認められ、その内容は決議12の中に生かされた。決議11および12とこれらの付属書類から、BG 汚染観測網についての具体的な内容を知ることができる。

観測所は Baseline station と Regional station の二本

建てである。

Baseline station

地球上で約10か所この種の観測所を設置する。設置場所としては100km四方以内に、こんご少なくとも50年間、人為的な汚染源の影響のないところなど8項目にわたって観測所が満たすべききびしい条件がきめられている。測定すべき要素として、気候の長期変動に係する大気成分を優先させ、これに2段階の順位をつける。

順位 I : A. CO_2 , B. 混濁度, C. 降水とドライ・フォールアウトの化学成分。

順位 II : A. CO とメタン, B. SO_2 と硫化水素, C. 窒素酸化物, D. オゾン全量, E. 可降水量。

Regional station

この種の観測所は地域的な土地開発の変化による大気組成の長期的な変動をしらべることにあがるが、都市や工業地帯の近くに設置してはいけない。急いでこの観測網をつくる必要がある。この観測所では、少なくとも降水、ドライ・フォールアウトの各化学成分、および大気混濁度を測定し、その他(決議11にのせてある)の測定は任意項目となっている。

4. わが国の BG 汚染の監視体勢はいかにあるべきか

(1) BG 汚染の監視体勢は12加盟国ですでに確立されている。気象庁は一年も早く、しかもなるだけ多くの観測所を設置して、極東地域の監視の役を果すことができるような体勢を整えるべきだ。

(2) 汚染度の高まりの将来を予測するには各汚染質の大気中での挙動(降水による rainout および washout 大気-海洋間の物質交換、その他を含む)を究明しなければならない。このためには放射性物質や、安定同位体についての研究が大いに有効である。WMO の計画に入っていない物質も測定項目に含ませるべきだ。

(3) 監視業務を発展させるためには、関連分野の研究スタッフを整備することが絶対に必要である。

(4) 大気汚染度が高まるにつれ、これが気象、気候にどのような影響を与えるかは重大問題である。日本の気象学者はこの分野の研究にもっと積極的に取り組んでいくべきである。その際、広い分野の総合的な研究体勢をつくるのがより効果的であろう。

引用文献

- 1) Bischof, W. and B. Bolin, 1966: Space and time variations of the CO_2 content of the troposphere and lower stratosphere. *Tellus*, **18**, 155-159.

- 2) Bolin, B. and C.D. Keeling, 1963: Large-scale atmospheric mixing as deduced from the seasonal and meridional variations of carbon dioxide. *J. Geophys. Res.*, **68**, 3899-3920.
- 3) Bolin, B. and W. Bischof, 1970: Variations of the carbon dioxide content of the atmosphere in the northern hemisphere. *Tellus*, **22**, 431-442.
- 4) Callendar, G.S., 1958: On the amount of carbon dioxide in the atmosphere. *Tellus*, **10**, 243-248.
- 5) Changnon, Jr.S.A., 1968: the La Porte weather anomaly fact or fiction? *Bull. Am. Met. Soc.*, **49**, 4-11.
- 6) Cobb, W.E. and H.J. Wells, 1970: The electrical conductivity of oceanic air and its correlation to global atmospheric pollution. *J. Atmos. Sci.*, **27**, 814-819.
- 7) Cox, R.A. and S.A. Penkett, 1970: The photo-oxidation of sulphur dioxide in sunlight. *Atmos. Environ.*, **4**, 425-433.
- 8) Georgii, H.W., 1970: Contribution to the atmospheric sulfur budget. *J. Geophys. Res.*, **75**, 2365-2371.
- 9) 川村清, 1968: 海洋大気中の NO_2 および NH_3 濃度. 日本気象学会秋季大会にて発表.
- 10) 串崎利兵衛, 原田朗, 1971: 大気のパックグラウンド汚染と大気化学観測. 測候時報, **38**, 1-9.
- 11) Misaki, M. and T. Takeuti, 1970: The extension of air pollution from land over ocean as revealed in the variation of atmospheric electric conductivity. *J. Met. Soc. Japan, Ser. II*, **48**, 263-269.
- 12) NCAR 1970: Pollution, radiation, and climate. NCAR, No. 27.
- 13) Newell, R.E., 1970: Water vapour pollution in the stratosphere by the supersonic transporter? *Nature*. **226**, 70-71.
- 14) Pressman, J. and P. Warneck, 1970: The stratosphere as a chemical sink for carbon monoxide. *J. Atmos. Sci.*, **27**, 155-163.
- 15) Seiler, W. and C. Junge, 1969.: Decrease of carbon monoxide mixing ratio above the polar tropopause. *Tellus*, **21**, 447-449.
- 16) Seiler, W. and C. Junge, 1970: Carbon monoxide in the atmosphere. *J. Geophys. Res.*, **25**, 2217-2226.
- 17) 山本義一, 田中正之, 荒生公雄, 1970: Turbidity の経年変化 (II), 日本気象学会秋季大会にて発表.

気象学会および関連学会行事予定

行 事 名	開催年月日	主催団体等	場 所
日本気象学会総会 および春季大会	" 5月24日 ~27日	日本気象学会 (東大)	気 象 庁
山の気象	" 6月19日	気象研究所	気 象 庁
THIRD INTERNATIONAL CONFERENCE ON WIND EFFECTS ON BUILDINGS AND STRUCTURES	" 9月6~11日	(気象学会後援)	東 京
日本気象学会総会 および秋期大会	" 10月5日 ~8日	日本気象学会	札 幌