

## &lt;特集&gt;

## 地球と地域の大気モニタリングネットワーク

Air Quality Monitoring Network of the Global and Regional Scale

溝口 次夫

佛教大学 社会学部 公共政策学科

MIZOGUCHI Tsuguo

BUKKYO UNIVERSITY School of Sociology Department of Public Policy

## Abstract

There are several air quality monitoring network in the world. Global air quality monitoring network are organized by WMO (World Meteorological Organization) and WHO (World Health Organization).

WMO has two natures of global monitoring network. One is for background air quality monitoring network and the other is for total ozone monitoring network.

The former network has begun to monitor CO<sub>2</sub> (carbon dioxide) at Mauna-Loa and the south pole from 1958. The measurement data made CO<sub>2</sub> yearly increase clear.

C.J. Farman analyzed the measurement data of total ozone in England south pole station of the latter network and discovered depletion of stratospheric ozone layer in 1985.

WHO has an air pollution monitoring network in megacities such as densely populated and heavy industrial cities.

One station has three different districts; residential, comereial and industrial. Tokyo and Osaka are selected at the stations in Japan.

As for regional scale monitoring network, Osaka pref. established air pollution real time monitoring system using an on-line computer at 1968.

It was the first system in the world.

**Keywords** : air quality moniotoring network, WMO, WHO, CO<sub>2</sub>, total ozone.

## 1. はじめに

南極上空でオゾンホールが発見されたのはファーマンが1985年イギリスの南極基地ハレーベイでの観測結果の解析であった。1982年南極へ越冬した日本の気象研究所の忠鉢研究員も昭和基地の観測で南極の春10月にオゾン量が減少していることを確認している。これらはいずれもWMO(世界気象機関)のオゾン全量モニタリングネットワークの観測点である。現在、世界中で問題となっている地球の温暖化は温室効果ガス(炭酸ガスなど)の増加によるものとされているが、1958年からハワイ島のマウナロアおよび南極点アムンゼン・スコットで連続して観測が続けられ、毎年0.4%大気中の炭酸ガ

スの増加が明らかになっているが、これらの観測点もWMOのバックグラウンド大気汚染観測点の1つである。WMOは成層圏を含む地球上のオゾン全量と炭酸ガスなどの大気成分の2種類のモニタリングネットワークを管理している。本稿ではWMO, WHOおよびNOAAのモニタリングネットワークおよびわが国の大気モニタリングシステムについて述べる。

## 2. 地球規模のモニタリングネットワーク

地球規模のモニタリングネットワークの主なものは4種類ある。主に国際機関が管理しているモニタリングネットワークである。その1つは成層圏オゾンのモニタリングネットワークであり、WMOのオゾン全量モニタリングネットワークである。WMOのもう1つのネットワ

\*〒603-8301 京都市北区紫野北花ノ坊町96  
TEL: 075-491-2141 FAX: 075-493-9032  
E-mail: mizoguch@bukkyo-u.ac.jp

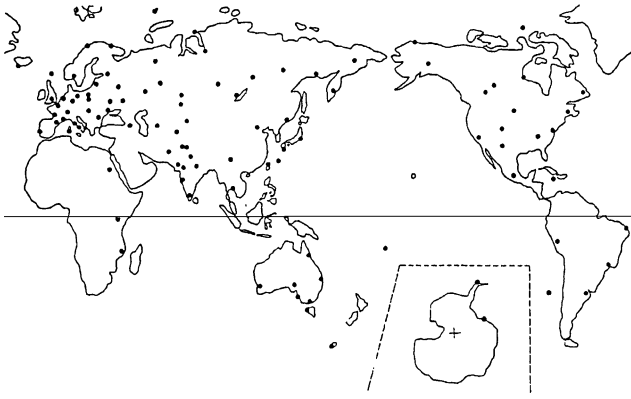


Fig.1 オゾン全量モニタリングネットワーク

ークはBAPMoNと言われるもので地球上の清浄な地域をモニタリングするネットワークである。WHO (World Health Organization:世界保健機関) も世界の大都市を対象にモニタリングネットワークを管理している。こちらは大気汚染の著しい世界の人口密度の高いメガシティに置かれている。国際機関ではないが、アメリカ合衆国の海洋大気保全局 (NOAA: National Oceanic & Atmospheric Administration) は太平洋の島国を中心に世界中で約 25 か所のモニタリングステーションを持って、大気と水のバックグラウンドモニタリングを行っている。

2.1 WMO のオゾン全量モニタリングネットワーク

オゾンは地表面から成層圏上空まで存在する特徴のあるガス成分である。地上付近のオゾンは自動車排気ガスなどの二次生成物として存在し、その酸化力から人体、動植物に影響を及ぼす。しかし、成層圏のオゾンは人体、動植物に有害な紫外線を吸収し、地上へ到達しない役割を果たしている。1980 年代から前述したように成層圏オゾンが年々減少している。

オゾン全量はドブソン分光光度計によって太陽光を光源として、地上から太陽までのオゾン量全てを計測して

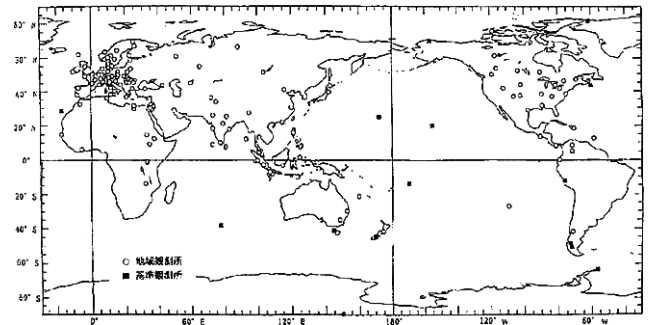


Fig.2 WMO Background Air Pollution Monitoring Network

いることからオゾン全量といっている。しかしオゾン全量の 90%以上は成層圏に存在することからオゾン全量の計測値を成層圏オゾン量と通常言っている。Table 1 にオゾンの測定法を示すが、オゾンは成層圏まで含めて数多くの測定法が実用化されている。

WMO のオゾン全量モニタリングネットワークのステーションは約 160 地点あり、その大部分はドブソン分光光度計で観測<sup>\*</sup>) している。<sup>\*</sup> 大気成分の計測は気象関係では観測と言ひ、環境関係では計測または測定と言っている。以下では測定に統一する。) 旧ソ連圏では主としてブリューワー法が用いられている。Fig.1 にオゾン全量モニタリングネットワークの観測地点の配置図を示す。1979 年からは NASA の人工衛星 NIMBUS-7 に搭載されている TOMS (Total Ozone Monitoring System) によって地球上全域上空の成層圏オゾンが観測されている。TOMS のデータ解析によって、南極上空の成層圏オゾンが毎年 10 月に減少していることが明らかになっている。

わが国のオゾン全量モニタリングネットワークの観測地点は、北から北海道の札幌、つくば、鹿児島、および那覇の 4 地点と南極昭和基地である。

2.2 WMO の大気成分モニタリングネットワーク

WMO の大気成分モニタリングネットワークは地球上

Table1 オゾン計測法一覧

オゾン計測法	地上オゾン	<ul style="list-style-type: none"> <li>吸光光度法 (アルカリ性よう化カリウム法)</li> <li>電量法 (よう化カリウム法又は臭化カリウム法)</li> <li>化学発光法 (エチレン-オゾン反応など)</li> <li>紫外線吸収法</li> <li>その他の測定法 (アセトアミドフェノール発色法など)</li> </ul>
	オゾン気柱全量	<ul style="list-style-type: none"> <li>太陽分光光度法 (ドグリン法又はブリューワー法)</li> <li>人工衛星法 (TOMS 法など)</li> </ul>
	オゾン鉛直分布	<ul style="list-style-type: none"> <li>オゾンゾンデ法 (電量法など)</li> <li>ウンケル法 (ドブソン法、ブリューワー法)</li> <li>人工衛星法 (SBUV、SAGE 法など)</li> <li>オゾンライダー法</li> <li>オゾンロケットゾンデ法 (光学法など)</li> </ul>

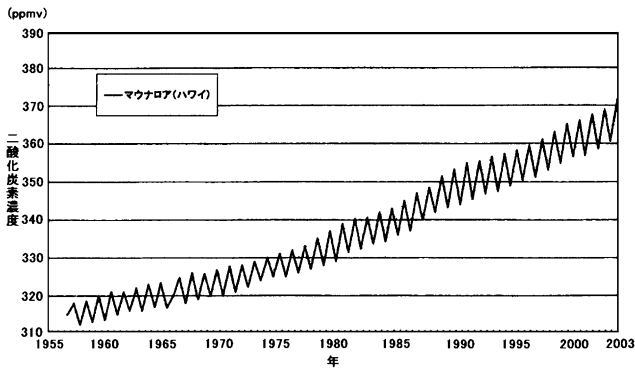


Fig.3 マウナロアの炭酸ガスの年変化

の大気の清浄な地点いわゆるバックグラウンド大気の測定地点である。BAPMoN (Background Air Pollution Monitoring Network) と略称し、オゾン全量と同じ時期から測定されている (Fig.2)。

現在 200 地点以上の測定点をもつ、最大のモニタリングネットワークである。地球上の大気の清浄な地域で気候に関係する大気成分、降水成分のモニタリングを行っている。大気の清浄さの程度によって①基準観測所②拡大地域観測所および③地域観測所の3つに分類されている。最も清浄性の高いのが基準測定点であり、ハワイ島のマウナロア、アラスカのバロー、南極点アムンゼン・スコットなどが基準測定点である。わが国で 1992 年から測定が開始された太平洋上の南鳥島も基準測定点であり、世界中で現在 16 地点となっている。Fig.3 にハワイ島マウナロアの炭酸ガスの 1958 年から 2003 年までの年変化を示すが、これが温室効果ガスの年々の上昇が明らかになっている証拠である。拡大地域測定所にはわが国の岩手県綾里がある。わが国には落石岬、波照間島などでも炭酸ガスなどを測定しているが、WMO のモニタリングネットワークには入っていない。地域測定所は最も多いがそれでも半径 50km 以内に大きな発生源がないなどの条件がある。各ステーションで亜硫酸ガス、浮遊粒子状物質が測定されているが、基準測定点では必ず炭酸ガスが測定されており、多くのステーションで降水成分が測定されている。酸性雨モニタリングネットワークの詳細は 4 で執筆されるので、ここでは主なことだけにふれる。酸性雨は越境汚染として大陸的規模のモニタリングネットワークである。北ヨーロッパのスウェーデン・ノルウェーが酸性雨の最初の被害を受けた国として知られている。

次いで北東アメリカで問題となっているがいずれも人体影響はなく、樹木、水域への影響である。したがって短時間での影響ではなく、長期間の蓄積的影響である。降水量のサンプラーもわが国のように 1mm とのサンプ



Fig.4 WHO のモニタリングネットワーク

リングではなく、1 降雨あるいは数時間のサンプリング装置となっている。

### 2.3 WHO の大気汚染モニタリングネットワーク

WHO の大気汚染モニタリングネットワークは WMO と違って世界の大気汚染の著しい地域と大都市にモニタリングステーションが設置されている。現在 160 地点以上で測定されている。わが国では、東京、大阪がモニタリングステーションになっている。それぞれ住居地域、工業地域および商業地域にステーションがあり、東京は 3 地点、大阪は 4 地点が選ばれている。しかしこの選定は国により地域により問題があり、わが国の場合、それぞれ狭い面積に数百万～1千万以上の人口が住んでいるため、その差がほとんど表れていない。また、中国では北京、上海が人口も多く選ばれているが、奥地の重慶、貴陽などの方が大気汚染濃度ははるかに著しい。

世界の 7 地域に WHO モニタリングセンターがあり、データ管理、測定精度のチェックなどを行っているが、東アジア、西太平洋地域のセンターは現在、(独) 国立環境研究所が担当しているが、筆者が国立公衆衛生院に在職していた当時は国立公衆衛生院が東アジア、西太平洋地域のセンターであり、センター長を勤めていた。Fig.4 に WHO 大気汚染モニタリングネットワークのステーションの配置図を示す。

### 2.4 NOAA の地球規模モニタリングネットワーク

NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration, U.S.A.) はアメリカの機関で国際機関ではないが、北半球 2 地点 (アラスカのバロー、ハワイのマウナロア) および南半球 2 地点 (サモア、南極点、アムンゼン・スコット) において約 20 年以上前から CO<sub>2</sub>、CH<sub>4</sub>、N<sub>2</sub>O、CFCs、地上 O<sub>3</sub> などの測定を行っている。



Fig.5 日本のCO<sub>2</sub>モニタリングステーション

これらの測定点はWMOのBAPMoNモニタリングネットワークの地点にもなっている。これらを含めて世界中で大気の清浄な25地点でフラスコ・サンプリング法によって温室効果ガスの測定を行っている。NOAAのモニタリングネットワークによってフロンガスなどの現状が明らかになっている。

わが国の北海道東端の落石岬および沖縄西南端の波照間島は1990年代からCO<sub>2</sub>などのモニタリングステーションが設置されている。しかし、この2地点はBAPMoNモニタリングネットワークには入っていないが、基準測定点または拡大地域測定点レベルの大気の清浄な地域である。UNEP（国連環境計画）の測定点に予定されている。わが国のWMOモニタリングステーションとUNEPモニタリングステーションの配置図をFig.5に示す。

## 2.5 酸性雨のモニタリングネットワーク

酸性雨のモニタリングネットワークは前述したように

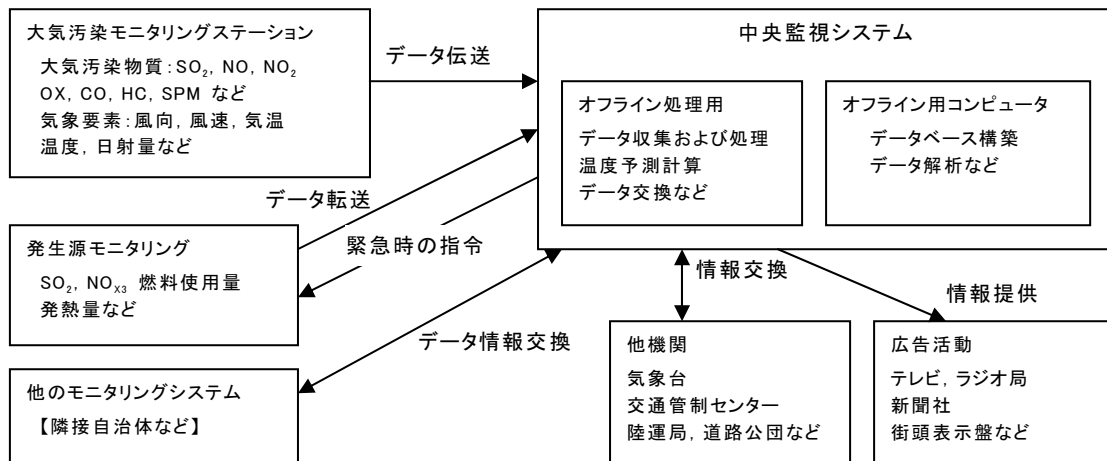


Fig.6 大阪府大気汚染モニタリングシステム

4で説明されるので、ここでは簡単にネットワーク設置のいきさつを説明する。酸性雨は降水中に工場などから排出されるSO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、HClが原因であるが、SO<sub>2</sub>が雲粒の中で硫酸となり遠くまで運ばれる、すなわち越境汚染の大きな原因となるので、特にSO<sub>2</sub>の排出量が問題になる。酸性雨の被害を最初に受けたのはスカンジナビア半島のノルウェー、スウェーデンであり、その原因の大部分はイギリスおよびヨーロッパ大陸からである。1970年代初めにEMEP（European Monitoring & Evaluation Programme）のモニタリングネットワークがヨーロッパで設置され、1980年代になって北米大陸でNAPAP（National Acid Precipitation Assessment Program）が組織された。NAPAPは7つのネットワークをもっている。その最大のネットワークはNADP（National Acid Deposition Program）であり、ハワイも含めてアメリカ全土で200か所のモニタリングステーションをもち、イリノイ州の国立水質試験所へ定期的にサンプラーが運ばれ、同試験所で測定されている。酸性雨は大陸的規模の大気汚染といえる。EANET（East Asia Acid Deposition Monitoring Network）は東アジア地域のモニタリングネットワークであるが、この地域では酸性雨の影響がまだ顕在化していないこともあって現在は情報交換および発展途上国の教育、訓練が主な目的である。

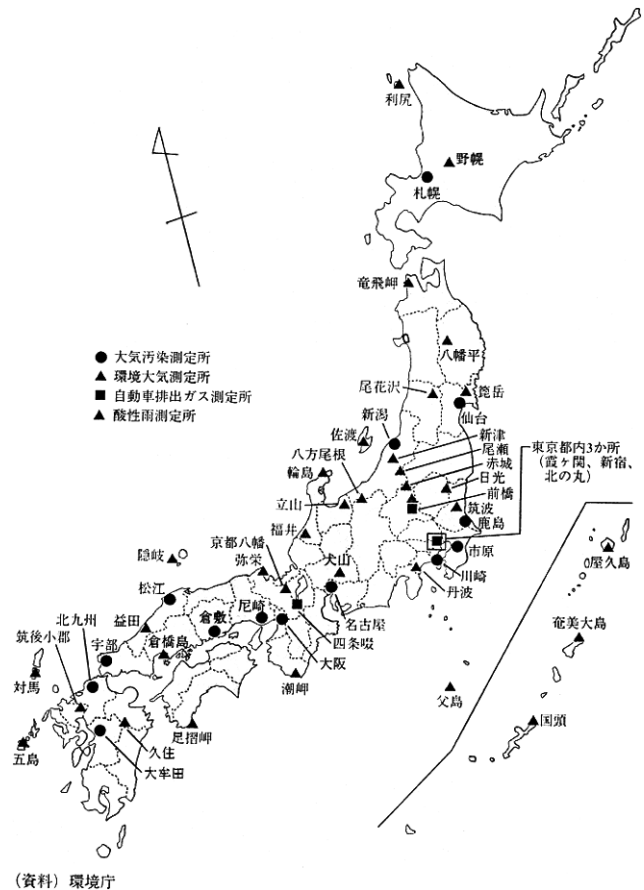
## 3. わが国の大気汚染モニタリングシステム

わが国では大気汚染に関する最初の法律「ばい煙の排出の規制等に関する法律」が1962年に制定されたときから、大気汚染物質の常時監視およびそれに伴う緊急時の措置が施行されている。これは1960年代初頭に四日

市市郊外に造成された石油コンビナートから排出される高濃度のSO<sub>2</sub>によって四日市ゼンソクが発生したことが契機である。法律の施行は都道府県、政令市が行うことになったので、これらの地方公共団体では地域内にいくつかの測定点を設置し、SO<sub>2</sub>および浮遊粉じん濃度を常時、主として自動測定機で測定することになった。ここでは大阪府の例を示す。

大阪府立公衆衛生研究所、大阪市衛生研究所および堺市保健所の3地点が常時監視測定所に指定され、毎時間測定を行い、大阪府庁の担当課へ電話連絡していた。測定値が高濃度になったとき、担当課ではあらかじめ指定している大発生源工場へ緊急時を発令して、操業の自粛を求めている。他の地方公共団体も同様のプロセスを行っていた。しかし、この方法は人間が測定値を中央へ電話連絡し、また、それを受けて電話連絡で工場へ発令するというものであり、人手が大変であり、時間遅れも相当なものであった。そこで大阪府では1968年大気汚染監視システムを設置し、迅速、的確に緊急時の措置が取れるようにした。Fig.6に大阪府の大気汚染監視システムを紹介する。このシステムは大気汚染の常時監視と緊急時の措置をコンピューターシステムによって迅速に行うものである。まず、モニタリングステーションはそれまでの3か所から大阪府下全域に広げて15か所とし、15か所のモニタリングステーションから毎10分にSO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、O<sub>x</sub>、SPMなどの大気汚染成分、風向、風速などの気象要素が無線回線で中央のコンピューターセンターへ送られる。また、府下約200工場からのSO<sub>2</sub>排出量等のデータも同時に無線回線で送信されてくる。緊急時の発令も工場に設置された警報装置へ一斉に連絡できるシステムであった。このシステムは、わが国はもちろん世界でも最初のオンライン大気汚染モニタリングシステムであった。その後、主な府県が同様のシステムを設置している。当初は冬季のスモッグ(ロンドンスモッグ)のために使用されていたが、現在は光化学スモッグ(ロスアンゼルススモッグ)のために利用されている。その後、近隣府県のモニタリングシステムとのオンラインデータ交換、气象台との情報交換、市民等への広報もシステムに組み込まれている。

国内の大気汚染モニタリングステーションは地方公共団体レベルで管理されているが、2000年現在SO<sub>2</sub>のモニタリングは1,000か所以上が設置されている。国レベルで設置しているものは大気のきれいなところ、密集したところおよび酸性雨ステーションで合計48か所となっている国が設置した測定所も管理は設置されている地域の地方公共団体が行っている(Fig.7)。



(資料) 環境庁

Fig.7 国設大気測定網配置図

#### 4. 大気成分モニタリングの問題点

大気成分モニタリングネットワークの基本は測定である。測定値は①正確さ②感度の良さ③繰り返し精度が要求される。年々測定機は高度化している。自動測定機が開発された当初は湿式測定機が中心であったが、最近では分光法による乾式測定法が普及している。確かに乾式測定法は湿式法に比べて、妨害成分、誤差要因も少なく、また廃棄物の処理の必要もない。しかし正確さを求めるためには純度の高い標準ガスによる高度のキャリブレーションが必要である。その点、湿式法は校正用標準試薬の純度の高いものが比較的容易に作製でき、キャリブレーションが実施できるが、乾式法のキャリブレーションのための高濃度の低濃度標準ガスの作製は容易ではない。1991年の湾岸戦争で明らかになったが、湿式法は試薬の入れ替えのために10日間程度が限度であるが、乾式法は2、3ヵ月無人で操作しなくても、かなり正しい測定値が得られる。

これは湿式法、乾式法共に共通であるが操作の正確さ

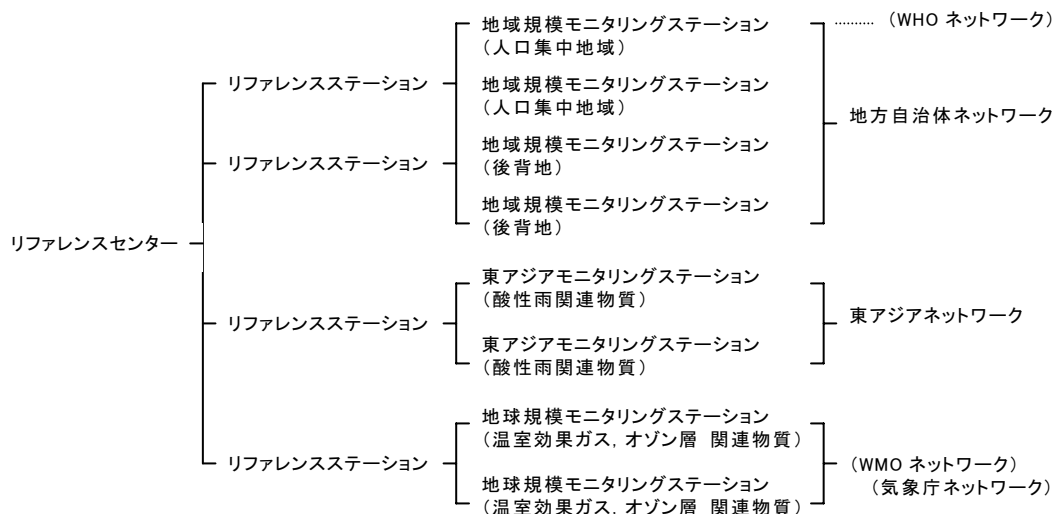


Fig.8 リファレンスセンターの構成

が必要である。そのために、操作のための教育、訓練は欠かせない。

測定機の精度管理、ラウンドロビン(クロスチェック)、構成方法の確立、標準ガスの調整、操作のための教育訓練のためにリファレンスセンターの設置が必要である。リファレンスセンターと各モニタリングネットワークの構成を Fig.8 に示す。

測定値の精度とは異なるが測定データの単位の表示に関して、世界レベルで統一する必要がある。SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>などのガス状成分はわが国では容積/容積(ex.ppm.vol.)で表示されているが、ほとんどの国は重量/容積(ex.mg/m<sup>3</sup>)表示されており、データの比較とくに環境基準値等を比較するときの問題になることが多い。

## 5. おわりに

大気成分のモニタリングは地球規模では温室効果ガスの増加、成層圏オゾンの減少などを把握する上でなくてはならないものであり、国内レベルでは工場、自動車などからの排出ガスの状況を確認する上で不可欠なものである。また、酸性雨など越境汚染が問題となる大陸の規模のモニタリングも含めて、世界中に数多くのモニタリングステーションが設置されている。21世紀中頃には開発途上国の経済成長に伴う、大気汚染物質、負荷物質のますますの増加が予測されている。これらの課題を的確に対処するためには効率的で有効なモニタリングネットワークの運用が必要である。東アジア、西太平洋地域では中国、インドをはじめ現在、経済成長の著しい開発途

上国が数多くある。それらの国々の国内の大気汚染防止はもちろん、地球規模の環境を保全できるモニタリング体制の充実が重要であり、そのためにわが国の果たさねばならない役割は非常に多い。

### [参考文献]

- 1) C.J.Farman, B.C.Gardinar and J.P.Shenkin : Nature, 315, 207/210 (1985)
- 2) Chubachi, S. : Mem. Natl. Inst. Pol. Res. Spec. Issue, 34, 13 (1984)
- 3) 国立極地研究所編 : 南極の科学, 3 気象, 古今書院
- 4) C.D.Keeling, P.R.Guenther, D.J.Moss : Technical Document WMO/TD, 125 (1986)
- 5) Dept. of Scientific and Industrial Res : London Her Majes. Ty's Stationary Office (1957)
- 6) E.Wikkines : Mechanical Engineering, May, 426 (1954).
- 7) A.Volz, D. Kley : Nature, 332, 240 (1988)
- 8) (社)大気汚染研究協会 : 国設大気測定網のあり方に関する研究. 平成2年3月
- 9) (社)大気汚染研究協会 : 国設大気測定網のあり方に関する研究. 平成3年3月
- 10) 土器屋, 溝口次夫 : ぶんせき, 6 (1989)
- 11) 溝口次夫 : 大気汚染学会誌, 24-5, 6 (1989)
- 12) 溝口次夫 : 環境と測定技術, 20-3 (1993)
- 13) 溝口次夫 : ぶんせき, 9 (1992)
- 14) 溝口次夫 : 土器屋 : 公害対策, 26-1 (1990)
- 15) 溝口次夫 : EICA 年報, 4, 41/49, 環境システム計測制御学会 (2000)
- 16) 溝口次夫 : 環境と測定技術, 23-2, 31/52 (1996)
- 17) 大浦ほか : 環境計測学, 環境新聞社 (1998)
- 18) 溝口次夫 : 計測と制御 40-4 (2001)
- 19) 溝口次夫 : EICA4, (2000)
- 20) 気象庁編 「気象変動監視レポート 2002」
- 21) 金森 悟, 金森陽子 : 気象研究ノート, 160 号, P.17 (1987)