

Ⅲ．環境大気汚染物質のモニタリング技術移転

■1994.4～1996.3, タイ王国, タイ王国環境研究研修センター (ERTC) プロジェクト, 長期派遣

久米一成

1. 簡易測定法

1.1 技術概要

分子拡散原理に基づき、ガス吸収剤をコーティングした濾紙を封入した簡易サンプラーを屋外に大気暴露し、暴露後の濾紙に捕集された目的成分物質を発色試薬により発色させ、濃度を求める。

今回行った簡易測定法は、二酸化窒素(NO_2)の捕集剤として、トリエタノールアミン(TEA)を使用し、一酸化窒素(NO)の捕集剤として NO を選択的に酸化する有機酸化剤:2-フェニル-4,4,5,5-テトラメチルイミダゾリン-3-オキサイド-1-オキシル(PTIO)をTEAに混合して NO_x 捕集剤として用いた。これらの試薬を濾紙に添加し、分子拡散型のL型サンプラー内に格納して、大気暴露を行う。TEA濾紙から NO_2 を、PTIO-TEA混合濾紙から NO_x の濃度を求め、 NO_x から NO_2 を差し引くことによって NO の値を求める。

1.2 導入目的

1992年のTDRI(タイ開発研究所)による発生源別大気汚染物質排出量の推計では、総排出量に占める車両交通の割合が一酸化炭素、窒素酸化物、炭化水素でそれぞれ87%、66%、41%となっている。車両の台数については、1987年時点で240万台強の車両が全国で登録され、過半数の130万台がバンコックに集中し、新車登録が400台/日の割合で増加している。バンコック首都圏での車両の増加は、中心市街地の土地の高度利用と高騰に伴う市街地のドーナツ化現象により、通勤距離圏が拡大しているにもかかわらず、地下鉄や高架鉄道など大量輸送機関の整備が進まないこと、唯一の鉄道も首都圏と地方を結ぶ路線が主で、日本の大都市圏のような近距離・循環線がないことから、ますます自動車通勤への依存が高くなっていることに起因している。

このように日増しに激しさを増す渋滞は、窒素酸化物や浮遊粒子状物質など大気汚染の状況を悪化させている。そこで深刻化する自動車排ガス問題の解決には、まずその実態を把握することが急務であるが、窒素酸化物等を測定する大気汚染自動測定機が設置されて

いるモニタリングステーションの数は少なく、十分な対応がとられていない。

途上国ではまだ大気汚染自動測定機の価格は高く、また調査地点の電源確保やメンテナンス等の問題も多く残っている。そこで価格が安く、簡便で操作性に優れ、多地点・同時調査可能である簡易測定法は、このような状況下における環境濃度モニタリングに有用な方法の一つであると考え、簡易測定法の一つであるL型 Passive Sampler による NO_x 調査法を今回導入した。

1.3 導入方法

長期暴露型のL型 Passive Sampler による NO_x 調査法については、既に専門家から技術移転を受けていたので、実際のフィールド調査を行った。

調査計画は、過去の調査結果に NO_2 濃度が NO_x 濃度を上回る事例があったので、この原因解明も含めて策定した。調査地点として、大気汚染が大きな問題となっているタイ北部のランバン県にあるタイ発電公社(The Electricity Generation Authority of Thailand-EGAT) が稼働しているメモウ石炭火力発電所の周辺を選び、窒素酸化物自動測定機のデータとの比較検討ができるよう、モニタリングステーション (EGAT が管理) に、サンプラーを設置した。そして、1995年4月より暴露期間1か月間で3か月間行った。暴露後の検体をERTCに持ち帰って分析した結果、再び NO_2 が NO_x より高くなる逆転現象がみられ、ERTCでその原因を詳しく追求することにした。当初、この逆転現象が、タイの気温が日本と比べて高温であることなど気象要因からの影響でおきているものと考え、これまでの暴露手法と平行して、一日中日陰の地点での大気暴露、水とガーゼを用いて冷やす工夫をしたサンプラーやPT10を通常の1.5に増やした濾紙を使用するなど、様々な条件下における NO 、 NO_2 濃度変化を調査した。

ERTC屋上にて、これらの条件下のサンプラーを2,3,4週間の期間で暴露し、分析した。結果は、再度 NO_2 濃度が NO_x 濃度を越える逆転現象がみられたことから、原点に戻り、試薬の調整・分析手法など基本的な技術について再確認することにした。

その結果、不良のマイクロピペッターを使用していたため、正確な試薬の定量ができていなかったり、酸化剤の濃度不足、発色剤の混合比の違いや計算式のファクターの違いなど様々なミスが明らかになった。

そこで12月にこれらを問題点について改良し、再度比較検討試験を行った結果、 NO_2 濃度と NO_x 濃度の逆転現象を解消することができた。

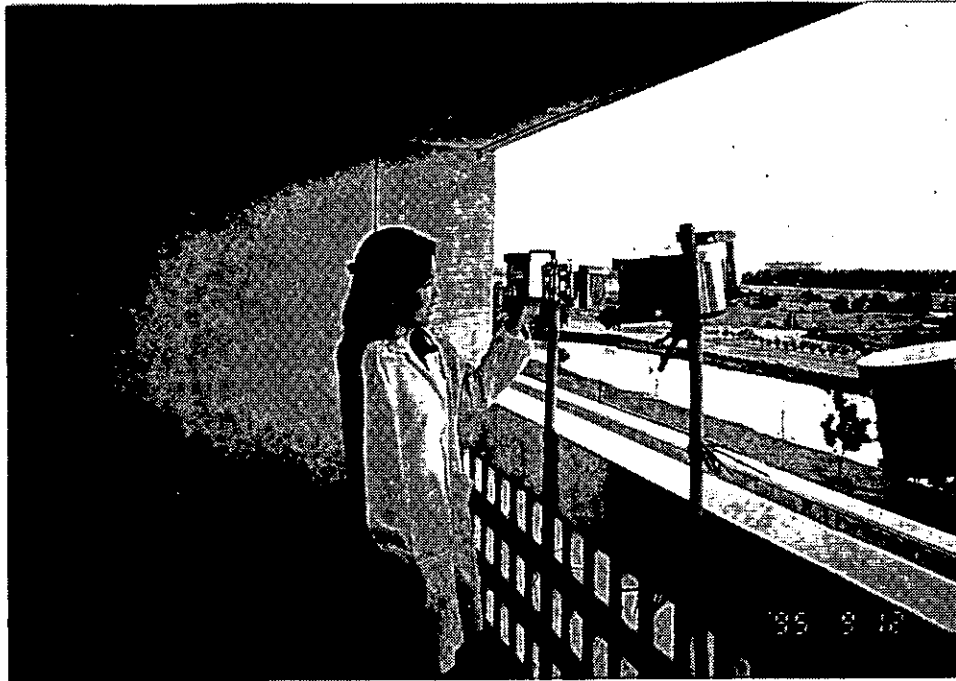


写真 3.1. L型サンプラーによる暴露試験風景 (ERTC)

1.4 成果、問題と課題

最終的に NO_3 濃度が NO_x 濃度より高くなる逆転現象は解決できたが、その原因が分析手法、計器操作ミスなど基本的なところで起きていた。これは、最初に簡易測定法の技術移転を受け、その後退職したカウンターパート(C/P)から、業務を引き継いだC/Pへの技術継承がうまくいっていなかったためである。タイでは技術移転を受けた、C/Pが突然退職するケースは多く、今回のようなC/P間の事務引継がうまくなされていないことも多い。

このようなことから技術移転の継続性を考えた場合、人が変わってもその継続性が維持されるようソフト面のマニュアル化をさらに充実し、個人だけでなく組織やラボも技術移転の対象にするなど、今後の技術協力のあり方として何らかの対策が必要であろう。

簡易測定法はその特性から、発展途上国での大気モニタリングには有効な方法の一つであると思われるが、一年中常夏で、乾期と雨期がはっきりと分かれるタイなどの熱帯地方の国では、日本で考案された簡易測定法、特に長期暴露型のものはそのまま利用できるケースは少なく、何らかの改良が必要である。今回 NO_3 濃度が NO_x 濃度を越える逆転現象の解明と同時に、気温対策としてサンプラーの冷却やPT10 試薬の添加量増加実験など行ったが、無対策のものとは比べて NO の捕集効率に増加傾向がみられた。

このようなことから、今後はガス暴露チャンバー(温湿度制御)を用いたトロピカルな気象条件における基礎実験や、モニタリングステーションのある道路近傍での大気汚染自動測定機との平行試験などから、気象要因等の問題点について検討し、熱帯地域仕様に改良

していく必要があるであろう。

1.5 日本の技術とその他の国の技術の相違

簡易測定法の日本の技術とその他の国の技術には、原理的には大きな差はなく、温度、湿度等の影響因子の差による濃度換算係数の値や、サンプラーの形状で若干の相違がみられる。また日本では、短期から長期まで暴露期間の異なるサンプラーが広く使用されているのに対し、その他の国では3週間を超える長期暴露型サンプラーの使用例は少なく、数時間から数日単位の短期暴露型サンプラーが一般に用いられている。

1.6 当該技術に関する関係情報源情報一覧

- 1) 横浜市環境科学研究所報 (1991)
- 2) The International Seminar on the Simple Measuring and Evaluation Method on Air Pollution : 大気環境学会(JSAE) (1994年3月)
- 3) A Sensitive Diffusional Sampler :Martin Fern (1991)
- 4) The International Seminar on the Simple Measuring and Evaluation Method on Air Pollution : 大気環境学会(JSAE) (1995年1月)
(1995年1月にERTCで大気汚染の簡易測定法と植物影響を主テーマに大気環境学会より開催されたセミナーで使われた資料である。)

2. 酸性降下物調査研究

2.1 技術概要

酸性降下物の採取方法を検討し、pH計、電気伝導度計およびイオンクロマトグラフ(IC)を使って、pH値、電気伝導度および K^+ 、 Ca^{2+} 、 NO_3^- などの主なイオン成分を測定し、酸性降下物の性状を把握する。

2.2 導入目的

急速な経済発展を続けているタイでは電力が慢性的に不足しており、この対策として豊富な国内炭を使った火力発電所の新・増築が計画され、またバンコックスモッグですでに有名な自動車排ガス汚染は、年々深刻さを増している。

タイ開発研究所のシュミレーションモデルによると、工業・輸送・発電からの窒素酸化物と硫黄酸化物排出量は、2011年には、1988年と比べて5~6倍の増加を予測している。

このようなタイでは、将来これらの大気汚染物質による酸性降下物影響が懸念されるこ

とから、酸性降下物のモニタリングは重要な課題である。そこで日本と異なる降水スタイル、気象要因を踏まえ、酸性降下物モニタリング手法の研究に取り組んだ。

2.3 導入方法

日本では、ダストジャー、ろ過式採雨器、ウェット&ドライサンプラー、自動雨水分析装置など、その調査目的に応じ、酸性降下物の採取方法を変えている。

しかしタイでは季節が雨期と乾期に分かれ、また雨期の降水パターンも日本と異なり、長時間連続して降り続く雨は少なく、熱帯特有のスコールの様な降り方をすることから、日本で用いられている採取器では、目的とする酸性降下物を採取できないこともある。

日本製の自動雨水分析装置をタイ北部のランバン県など数カ所で見ることがあったが、そのほとんどが停止中か、メンテナンス不良による分析値異常が見受けられた。半年あまりの乾期で雨が降らず、一年中常夏の状態の中、複雑な操作で雨水分析を行う機器にとっては、メンテナンス体制がしっかりと確保されていない状況下では、当然故障率も高くなる。

一方、タイの清浄地域としてサコナコーンとカンチャナブリにスウェーデン製の雨水自動採取器が設置されていたが、ソーラーシステムで電源もいらず、原理も簡単で故障率も低かった。



写真 3.2 ソーラーシステムによる自動雨水採取装置

途上国ではハイテクを駆使した高級機器より、このように極力シンプルな機器が現状に適していると思われる。

また乾性降下物や虫など雨水以外の混入物が多いタイでは、ろ過式採雨器は目詰まりしやすく、ダストジャーでは、ある程度深さがないと、強い風によって乾性の降下物が吹き飛ばされてしまう。

様々な酸性降下物の採取方法を試みたが、最終的に自動雨水採取装置を使った方法で、一降水毎の湿性降下物調査をタイ国内4か所で実施した。

なお、タイの降水パターンが主に降り始めに降水強度最大であることから、自動採取装置には、高感度の感雨センサーとすばやい蓋の開閉能力が必要で、且つ非降水中の浮遊粒子状物質が多いことから、採取器へのこれらの混入を防ぐため、蓋と採取容器との高い密閉性が要求される。

採取した雨水検体は、ICを使ってイオン成分分析を行ったが、ICがノンサブレッサー方式だったため、感度が出ず分析に苦勞した。

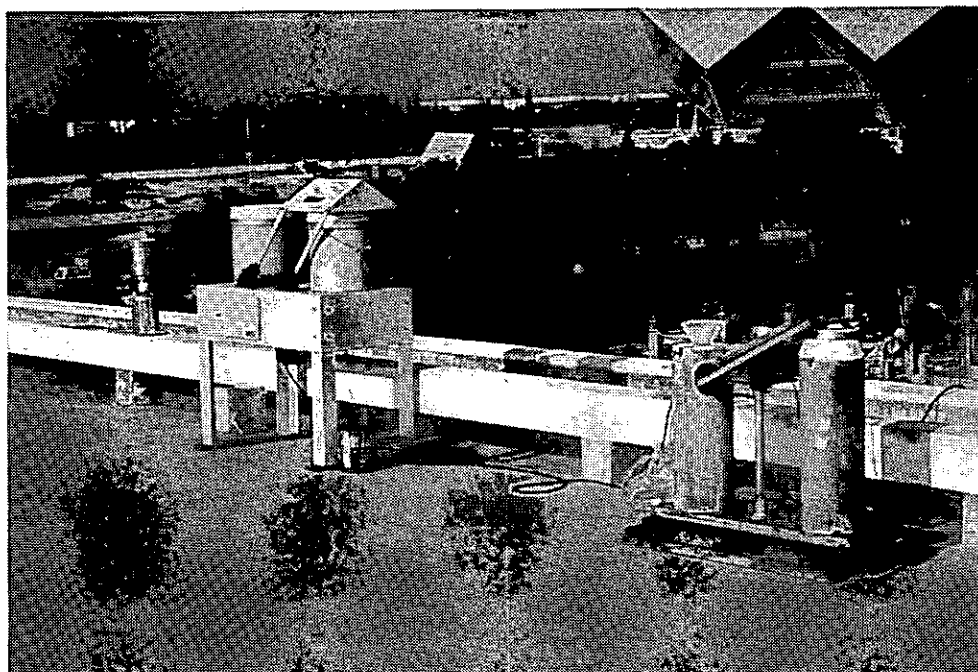


写真 3.3 酸性雨調査風景 (ERTC)

日本では、雨水検体のような低濃度のイオン成分分析では、感度が出るサブレッサー方式のICが主流である。しかも使用したICの分離カラムの劣化が早く、交換カラムの入手にも時間がかかり、イオン成分分析のスケジュールが大幅に遅れることとなった（なお現在は、サブレッサー方式のICを導入し分析をおこなっている）。

酸性雨分析は低濃度でコンタミが起きやすいことから、分析精度向上ため日本環境センターの酸性雨クロスチェック試料を分析させたが、結果はほぼ分散の中央値にあり、良好な結果だった。酸性雨データの精度管理を行うにおいて、クロスチェックの継続参加が望ま

れる。

なお、電気的中性の原理からの確認（イオンバランス）と導伝率の計算値と測定値の比較による確認（EC バランス）によって分析データをスクリーニングし、分析データ精度を確保した。

日本では、酸性降下物による樹木衰退や文化財など人工構造物への影響について研究が盛んであるが、今後タイにおいても酸性雨の低 pH 値化による被害の顕在化の可能性もあり、その影響調査法について技術指導を行った。

タイでは、雨水の pH 値は日本と比べると高い方で、雨の降り方も被害の出難い『どしゃぶり』タイプであることから、急性被害よりは慢性被害影響に着目し、長期間においてその影響を蓄積している文化財などの金属腐食影響を調査することにした。

さっそく ERTC 近くの世界文化遺産に指定された文化財の宝庫のアユタヤで、調査を行った。しかしタイは煉瓦文化で、建物や屋外の仏像はほとんど煉瓦または漆喰で造られており、日本でみられるような灯籠や銅屋根など酸性雨影響の調査できる金属構造物はほとんどなく、文化財を用いた酸性雨影響調査は失敗に終わった。

しかし、昨今の金属構造物への影響は今後起こりうる可能性もあるので、金属影響調査法を変更し、既存の金属テストピースを使った屋外暴露試験法については技術指導を行った。

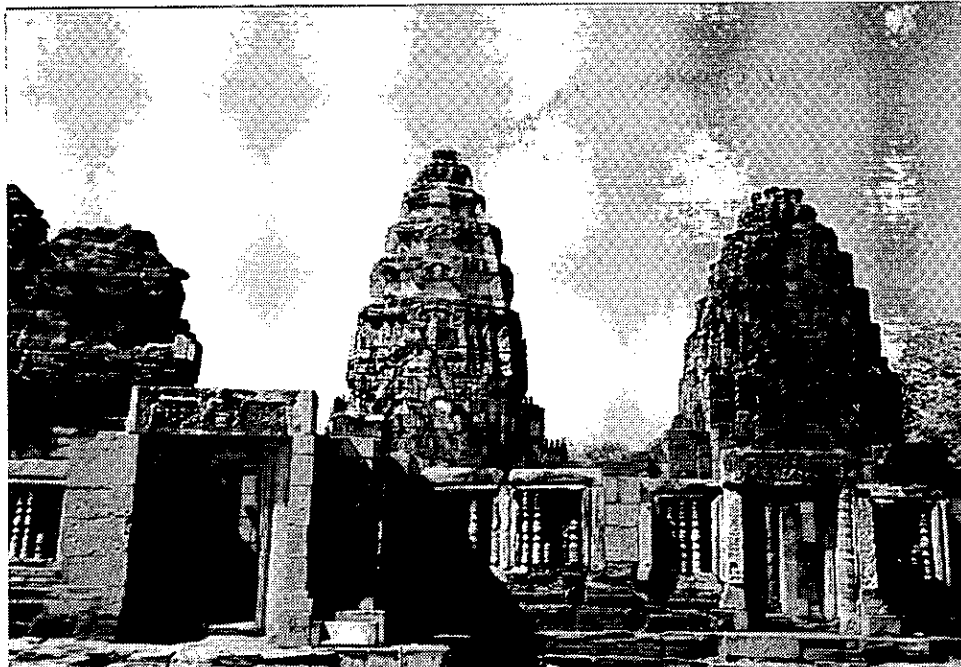


写真 3.4 ピーマイの遺跡

2.4 成果、問題と議題

基本的な雨水の採集・分析における技術マニュアルは、ほぼ確立しており、今後は酸性雨データの精度向上が大きな課題である。

日本を中心とした東アジア酸性雨モニタリングネットワーク計画が現在進行中で、タイもこの共同調査に参加予定であり、今後酸性雨データの精度管理と精度保証がますます重要となってくると思われる。

ERTC では一般に、テンポラリーやテクニシャンが基本的な分析器具の洗浄や試薬の調整などをおこなっており、C/P は高度な技術修得に関心が高く、装置の定期点検や検体試料の保存法など基本的分野が軽視されがちになっている。そしてこのことが機器の保守管理やデータの信頼性に大きく影響している。

また途上国では分析用の水の確保も重要な課題で、特に酸性雨では低濃度イオン分析であるため、ちょっとしたコンタミが大きな問題となる。

ERTC では井戸を使って地下水も汲み上げていたが、分析用水として使用に耐えきれず、結局外部から水を買ひ、イオン交換樹脂を通して使用していた。

突然の停電もイオンクロマト稼働中は脅威である。停電は突然起こり、そのほとんどは数時間におよび、時として一日中といった最悪のケースも頻繁に発生する。

この対策として充電式補助バッテリーを設置し、分析中の突然の電源断は、免れることができたが、自家発電装置を設置するなどの対策がなされないことには、この問題の根本的解決にはならないであろう。

2.5 日本の技術とその他の国の技術の相違

酸性降下物の採取法は、基本的に日本と欧米間に大きな差はなく、目的採取成分によってその装置を使い分けているが、一般的に欧米では自動採取器による採取が主流である。

なお、試料保存のために防腐剤としてタイモルを入れるところもあるが、日本では以前ろ過式採雨器など採取期間の長いものには、ホルマリンなどの防腐剤を入れた時期もあったが、現在ではほとんど実施されていない。

なお、雨水成分分析は、日本で自動雨水分析装置を使った調査が行われているが、手分析においては、日本と欧米間に大きな分析手法の相違はない。

2.6 当該技術に関する関係情報源情報一覧

- 1) 大気汚染による金属材料の腐食測定法指針：環境庁大気保全局大気規制課（昭和 63 年 6 月）

(なお、金属腐食調査は、JICA プロジェクトの一つである Thailand Institute of Science and Technological Research (TISTR)で、様々な金属材料や石材を使って屋外暴露をおこなっている。)

- 2)酸性雨測定法に関する資料集：酸性雨対策検討会大気分科会（平成2年3月）
- 3)酸性雨調査法：酸性雨調査研究会（平成5年6月）
- 4)酸性物質の広域輸送と環境影響論文集：（財）電力中央研究所（1996）
- 5)酸性雨 土壌・植生への影響：公害研究対策センター（平成2年5月）

3 環境大気常時監視

3.1 技術概要

窒素酸化物計、オゾン計等の大気汚染自動測定機における精度管理、精度保証および得られたデータの有効活用法

3.2 導入目的

ERTC では研修用と監視用に無償資金協力により研修室とモニタリング室に大気汚染自動測定機を設置し、このうちモニタリング室では常時稼働させている。しかし測定機のメンテナンス不足等により異常データも多く、データの有効活用もあまりなされていない。

今後国際間の共同調査などで、大気環境調査における常時監視データの必要性は増々高くなる傾向にあり、測定機の精度管理・精度保証はデータの信頼性を高める重要なテーマの一つである。

3.3 導入方法

常時稼働させる大気汚染自動測定機は、精度維持のため、日常のチェックの他、定期的保守管理が必要であるにもかかわらず、ERTC では実際にはあまり実行されていない。また定期的に交換しなければならない部品も、予算の問題等もあってか壊れるまで使用するというケースも多く、機器の精度保証の大きな妨げとなっている。そこで、機器の保守管理に対する意識改革を促し、機器の点検計画・点検内容など保守管理手法の構築を行った。

大気汚染自動測定機は稼働を始めてから、6年間1度も定期点検を実施しなかったことから、まずオーバーホールを行うこととした。ERTC に設置されている測定機は、主に日本メーカーのA社、B社製で、これらの会社の直接の支店はタイにはなく、それぞれ現地の代理店が対応している。当初、代理店が示したオーバーホールの見積価格は、タイの物価水準から判断すると非常に高く、数度の交渉の末、何とか予算内で行うことができたが、一

般に財政的に余裕のあまりない途上国にとって、これだけの予算を計上することは簡単なことではないと思われる。

次に得られたデータの有効活用であるが、データの信頼性を確認するためのデータスクリーニング手法等について、主に環境大気常時監視マニュアルに基づいて技術指導を行った。また、モニタリング室に置かれている常時監視用大気汚染自動測定機のデータは、データロガーに各項目の1時間値として保存されていたが、データの統計処理を行いやすい月報として打ち出されるようプログラムソフトの変更を行った。

測定データの信頼性を確保するためには、機器の精度管理は最も有効な手段ではあるが、定期的機器の保守管理だけでは、測定値の系統誤差を少なくすることはできても、測定によるランダム誤差は防止することはできない。また、環境濃度自体多くの要因から形成されているため、測定値はさまざまな状態が含まれている。このため測定された測定値の信頼性を一定水準維持管理するため、様々な手法による測定値の確定作業が必要とされる。

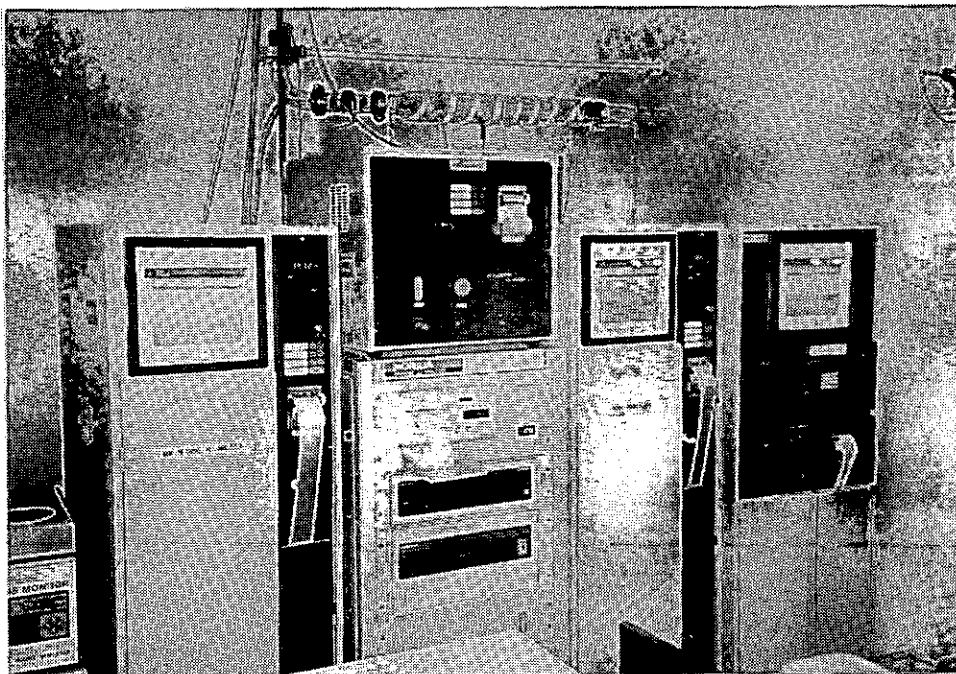


写真 3.5 環境大気モニタリング室

3.4 成果、問題と議題

今回のメーカー側代理店による検査・修理・定期点検など一連作業の中で、機器の正常稼働に日常の保守管理の重要性がC/Pにも伝わり、これまでの部品は壊れるまで使用し、定期的に部品交換することは少なかった状況から、次年度のタイ側の予算に保守管理費を計上するなど、認識に変化が芽生えた。

しかし、代理店のオーバーホール作業の中で、修理に必要な個所が見つかったとしても、実際の修理作業に入るまでに1~2か月を要し、部品によっては半年以上も待たされることもあった。このようなことは、測定機の日常の交換部品や消耗品の入手においても同様で、はじめは簡単な故障であっても、部材が入手できないことによって機器が長期間放置される状況がみられる。そしてこのことがさらに修理を困難にし、機器の稼働率低下をまねいている。この原因の一つに、機器メーカー側の対応のまずさが見受けられる。消耗品や交換部品をタイで入手することが困難なことから、日本国内のメーカーに連絡することになるが、タイの代理店との意志伝達がうまくいっていないのか、何度代理店に催促しても、動きが鈍い。また、日本のメーカーに直接問い合わせても、日本での海外ユーザーの対応窓口がはっきりしなかったりして、結局発注してから納入するまで数か月かかったりする。この問題の解決のためには、機器を納入するメーカーに対して海外でのアフターケアの体制確立と、渉外窓口の所在を明確にすることが重要であろう。一方、専門家が新しく任地に行くときは、使用予定機器のメーカー名を事前に確認し、日本での渉外窓口や現地での対応代理店名などについて把握しておいたほうが無難だと思われる。

しかし発展途上国では、機器本体の問題以外にも、日本で簡単に手にはいる標準ガスや窒素ガスの入手が困難など様々な問題があり、機器の精度管理・精度保証を確立していく上において、これらの基本的課題を一つ一つ解決していくことが、重要であると考えられる。

3.5 日本の技術とその他の国の技術の相違

日本では、常時監視用大気汚染自動測定機の硫黄酸化物計、窒素酸化物計及びオキシダント計は、吸収液を用いる湿式法で測定を行っているが、世界的にみるとこれらの機器は吸収液を用いない乾式法が主流である。湿式法は吸収液や消耗品の交換も頻発であり、保守管理作業項目も多い。機器の校正方法の問題を除けば、試薬や部材などの入手が困難な途上国では、乾式法が適しているものと思われる。タイで用いられている環境大気の測定は、窒素酸化物及びオゾン（日本ではオキシダントに対応）を乾式法の測定方法である化学発光法で行っているが、硫黄酸化物はパラロザリニンを用いた比色法で行っている。パラロザリニンは市販の標準品に不純物が多く、純度の高いこの試薬を入手するのは難しいため、何度も分析のやり直しを強いられた。

なお、汚染対策局の環境大気モニタリング局では、紫外線蛍光法を用いた乾式法の硫黄酸化物計で測定を行っていた。

3.6 当該技術に関する関係情報源情報一覧

1. 大気環境常時監視マニュアル：環境庁大気保全局規制課（1986.5）

2. ASNEM WORKSHOP ON AIR POLLUTION MONITORING AND ANALYSIS(1995.2)

（1995年2月にERTCで環境大気のモニタリング手法と分析を主テーマに行われたASEAN NETWORK ON ENVIRONMENTAL MONITORING(ASNEM)セミナーの内容を製本したものである。）