平成９年度環境庁委託
持続可能な開発支援基盤整備事業

大気環境保全技術研修マニュアル
技術移転手法

平成 10 年 3 月

社団法人 海外環境協力センター

序

現在、開発途上国が直面している環境問題の特徴は、我が国が高度成長期に経験したような深刻な公害の発生に加え、地球規模の環境悪化が同時に起こっていることであり、人材不足、技術不足、資金不足の中で環境問題をいかに克服するかが緊急の課題となっている。その一方で、貧困から抜け出すために、経済開発を求める圧力はより増大している。

このような状況において、開発途上国の環境保全の推進のためには、我が国をはじめ先進国の支援は欠くことのできない要素となっている。その支援の一環として、我が国からも多くの専門家が途上国へ派遣されているが、派遣された専門家は相手国で様々な問題に遭遇する。それらは環境保全の技術移転そのものに関する問題はいうまでもなく、ことばの問題、習慣や文化の違いあるいは環境保全の推進を困難にする制度の不備等である。

派遣された専門家は、このような様々な問題をひとつひとつ乗り越えながら、限られた期間内に技術移転を行うことになる。そのため、既に派遣された専門家の貴重な経験を集積し、後続の専門家に伝えていくことにより、今後の我が国の技術移転の質を高めていくことが期待される。

本テキストは、このような背景を受けて、開発途上国で深刻な問題となっており、我が国に対する技術移転の要望が多く出されている大気保全分野について、これまで派遣された専門家による技術移転事例をまとめたものである。本テキストが、開発途上国における我が国による環境分野の技術移転の現場はもとより、国際環境協力専門家を養成するための研修等においてご活用いただければ幸甚である。

このテキスト執筆は、大気環境保全分野で開発途上国へ派遣され、技術移転を行ってこられた専門家の方々にお願いした。執筆をいただいた各位に対して厚くお礼申し上げる次第である。

平成 10 年 3 月

社団法人海外環境協力センター
理事長　　渡　辺　　　修

目　次

項目	頁
【タイにおける大気保全技術移転事例】	
I．タイにおける環境大気･排ガスの監視・測定技術の移転　坂田 衞	3
II．固相吸着法による大気中PCBsモニタリング技術の移転　渡辺靖二	19
III．環境大気汚染物質のモニタリング技術移転　久米一成	33
IV．タイ技術移転事例　矢島 巖	45
V．大気試料の機器分析法のトレーニング(Training of instrumental analysis of air pollutants)　桑田一弘	65
VI．タイにおける酸性雨の実態調査　田中 茂	77
VII．大気汚染に関する研究手法～研究対象に対してのアプローチの仕方 自動車排出ガス中の汚染物質について　竹永裕二	85
VIII．大気環境中の粒子状物質による汚染の測定と発生起源寄与の評価　芳住邦雄	89
IX．HPLCを用いた大気浮遊粉じん中多環芳香族炭化水素測定手法　雨谷敬史	111
【中国における大気保全技術移転事例】	
X．中国で経験した技術移転　朝来野国彦	123
XI．中国の大気環境技術等の状況　城戸伸夫	127
XII．中国の大気汚染と対策　播磨幹夫	139
XIII．自動車排ガス測定技術の移転　斉藤敬三	163
【インドネシアにおける大気保全技術移転事例】	
XIV．大気保全技術の途上国への移転技術　早川守彦	177
【その他（大気保全技術の紹介）】	
XV．製鉄所におけるばいじん・粉じん大気汚染防止技術　今井三博	213

執筆者一覧

（平成９年度末現在）

執筆者名	現　　職	執筆箇所
坂田 衛	（元ＥＲＴＣ及びＥＭＣ専門家）	Ⅰ
渡辺靖二	環境庁環境研修センター教官	Ⅱ
久米一成	静岡県環境部生活環境課主任	Ⅲ
矢島 巌	環境共育推進グループ「ビスタワールド」主宰	Ⅳ
桑田一弘	大阪府公害監視センター企画室長	Ⅴ
田中 茂	慶応義塾大学理工学部応用化学科助教授	Ⅵ
竹永裕二	東京都下水道局新河岸処理場保全係主任	Ⅶ
芳住邦雄	共立女子大学家政学部教授	Ⅷ
雨谷敬史	静岡県立大学環境科学研究所助手	Ⅸ
朝来野国彦	(株)環境管理センター理事	Ⅹ
城戸伸夫	工業技術院資源環境技術総合研究所統括研究調査官	Ⅺ
播磨幹夫	資源化工環境工学研究所所長・技術士	Ⅻ
斉藤敬三	工業技術院機械技術研究所エネルギー部環境技術研究室長	XIII
早川守彦	（元ＥＭＣ専門家）	XIV
今井三博	集塵装置（株）専務取締役	XV

【タイにおける大気保全技術移転事例】

I．タイにおける環境大気・排ガスの監視・測定技術の移転

■1990.11～1993.11，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
■1994.2～1996.2，インドネシア共和国，環境管理センター（EMC）プロジェクト，長期派遣

坂田 衛

1．はじめに

途上国への技術移転においては、まず移転する技術のレベル、関係法規などの現地の実状及びそのよってきたるところ調査し、こちら側の思いこみをできるだけ排除して現地側の受け入れやすいテーマなり方法を探ることが必要である。そうしなければ、無意識のうちに日本の秩序を当然としてしまい、結果として相互理解を欠いてしまうおそれがある。赴任前に、あるいは赴任後できるだけ早く情報入手につとめたい。

本稿ではその経験、ならびに実際の技術移転のあるべき姿と実際のずれを書いたため、報告書のようなかたちになってしまい、通常のマニュアルとは大変異なるものとなったのではないかと考える。しかし、その経験から方法論を汲みとっていただくのも一つのマニュアルではないかと考える。

以下、タイ ERTC プロジェクト発足時におけるそれらの状況から記述する。なお、ここにあげた事例は'90 年 11 月から'93 年 10 月までのものである。

1.1. ASNEM 諸国における大気環境保全技術等の状況（ERTC プロジェクト開始当時の調査による）

専門家は途上国へ技術移転に行くのであるから相手側が遅れているのである、という先入観を持つことは危険である。それぞれの国にはそれぞれの文化がある。まずできるだけ情報を仕入れるようおすすめする。例として赴任直後に調査することができた'90 年頃の様子を記述する。

(1) タイ

タイ政府は 1975 年に環境法（National Environmental Quality Act）を制定、さらに EIA 法も同年に公布した。担当は副首相が議長をつとめる環境委員会(NEB)事務局の ONEB（Office of National Environment Board、環境庁）であった。大気環境基準は、

CO、NO_2、SO_2、SPM、O_3、Pb について'81 年に制定された。ONEB は'83 年に CO、SPM の固定監視局をバンコク市内に 8 局設置した。また移動測定車も 2 台導入している。しかし'90 年当時までに機器の更新は行われていない。また、測定方法は文献を指定するのみでマニュアル自体は存在しないようである。工場等からの排出基準については、'71 年にまず煤の濃度について工業省が規制値を設け、その後有機ガス、金属等を含めた 31 種類の規制値リストへ展開した。自動車排ガスについては警察庁が'84 年に、ONEB 及び陸運局が'88 年にそれぞれの規制値を設定した。なお ONEB は'85 年頃よりスウェーデンの専門家を招聘、大気汚染管理について研究を開始している。

1990 年 9 月、JICA の支援のもとに ASNEM 諸国政府の環境関係者の会議が東京で開かれ、タイより ASNEM（ASEAN Network for Environmental Monitoring）の結成が提案され、可決された。第 1 回会議は翌'91 年 3 月にバンコクで開かれた。ONEB はその英語名のように部会事務局であったが、'92 年 4 月、科学技術環境省 MOSTE (Ministry of Science, Technology and Environment)が設置されるとともに同省の環境関係 1 室 2 局、すなわち環境計画政策室 OEPP(Office of Envir'l Plan'g & Policy)、環境管理局 DPC(Dept. of Poll. Control)、環境改善促進局 DEQP(Dept. of Envir'l Quality Promotion)に昇格した。このような状況下で 10 年近い準備期間を経て'90 年より日本政府 ODA の ERTC プロジェクトが始動した。

このようにみてくるとタイにおける環境問題への行政的アプローチは決して遅いものではなかったことがわかる。

(2) マレーシア

科学技術環境省（MOSTE）傘下に環境局 DOE（Department of Environment）があり、全国 35 ヶ所の TSP 採取局を管理している。かつてクアラルンプール市内にガス測定局もあったが、メンテナンスと部品補給の問題から機能停止した。しかし、'91 年度より JICA 援助でガス及び TSP 測定の固定局 3、移動局 2 が首都圏で再び活動を開始した。DOE は機器管理のみで、化学分析は DOC（化学局）の担当。ここの設備（ICP あり）及び技術レベルは途上国としてはかなりのレベルに達しており、活気もある。

気象局は本局敷地内で酸性降下物と粒度別 PM を取り、分析を DOE に回している。こういった状況から見れば、粒子状物質を除けば大気汚染に関してはあまりデータは存在しないものと思われる。なお、'91 年当時、大気に係る排出基準は制定されていたが環境基準は提案値であった。

(3) シンガポール

ASEAN で唯一、環境省（ENV）のある国。しかし高官は自国の排出より隣接国からのもらい公害に敏感なようである。島内に脱硫システムをもつ工場は皆無であるが、汚染物排出低減策としては燃料と燃焼プロセスの改善指導だけ行っており、NOx については何もしていない。自動車排ガスからの CO は問題解決済みの立場をとっており、現在燃料無鉛化を推進している（既に 0.5%）。固定監視局は 14 カ所あるが、SO_2は紫外蛍光の乾式測定ではあるものの、チャート紙に連続記録された線から 1 時間値を定規で線引きして算出しており、また NOx はインピンジャによる 24 時間サンプリングで液を回収してラボで分析しているなどの状況であった。その化学ラボもそれほどすぐれた機器が装備されているとはいえない。全体として環境にあまりヒト、カネをかけていないという状況である。

ただ、粒子状物質は TSP，PM10、降下ばいじんと細かく測定しているのが目立つ。環境基準は制定されていないが、米国 EPA の値と WHO の勧告値を指針としている。

(4) フィリピン

環境自然資源省（DENR）が環境問題を担当している。かつて日本の援助により大気監視局網があったが、機器の補修ができなかったため消滅してしまった過去がある。その後アジア開銀（ADB）の援助で 4 局復活した。環境対策実施機関は環境管理局で全国 13 の地方事務所が実務を分担する。上記 ADB 供与の監視局は首都圏事務所（NCR，National Capital Regional Office）が担当する。NCR はこの他首都圏内 11 のサイトでサンプリングも行っている。環境基準制定済み。試料の化学分析は汚染管理部（NPCC，National Pollution Control Commission）が担当するが、この NPCC も全国に 4 カ所ラボをもつ。国の環境モニタリングは中央の 1 機関で処理しきれるものではないから、このように地方で分担するのが現実的である。（cf. 他の ASNEM 諸国は中央集権的）

なお、大臣官房環境担当官は、地方の教会を核とした地域環境保全運動を計画していた。これは、地方政府、地方大学も協力し、ミニラボも設置しようというもので、ユニークであるといえるが、カトリック教会と神父、あるいはイスラムの長老が地域をしっかり握っているこの国にして可能な発想であろう。

(5) インドネシア

人口環境省（現環境省）が担当であり、'82 年に環境基本法を制定した。'88 年に水質環境基準、排水基準を制定し、'94 年に有害物質に関する法律を定めた。大気汚染防止法に相

当するものは未発布で、大気環境基準はガイドライン、それもジャカルタ地区に適用を限定するというもの。この省の環境部門には早くからカナダの援助機関 CIDA の専門家が入って種々提案をしているが、'93 年に人口環境省は環境省に改組されるとともに、環境管理庁が設立され、規制の実施を所管とすることとなった。

大気汚染監視の実務は気象庁（BMG）が全国 19 の定点において、限られた項目で実施しているが、本部ラボを実見したところ、内容はまことに貧弱で大したことはできていないようであった。

衛生省が住民の健康の観点からジャカルタ市内に限って SO_2、NOx の湿式測定を実施している。

技術的に充実しているのはジャカルタ特別市の都市環境研究開発センターで、ここでは機器、技術者ともかなりのものである。市内の定点監視も数年前から実施しており、大気自動分析計の導入も間もなく実現する予定。

(6) ブルネイ

環境問題を専管する省庁はない。開発省が窓口であるが、高官は大気汚染より森林・沿海環境の保全を優先すると発言。大学でも環境測定に関心を寄せるところはない。

気象庁が大気環境監視局の予算を請求したが認められなかったとのことである。

衛生省のラボでは、環境分析を担当する箇所であるとの認識はあるが、今のところ大気監視は考えていない。

(7) 総括

以上をまとめると、ブルネイを例外として、ASNEM 諸国は環境問題には関心が深く、法令もかなり早期に制定されている。しかし、実際にどのように環境の質を把握し、どうして改善するか、というところがフィリピン以外では非常に不明瞭である。その理由や経過はそれぞれの国によって異なるであろう。従って直ちに日本の尺度をそのまま当てはめて「指導」を行うことは害こそあれ、益するところは少ない。

1.2 技術移転受け入れ側の状況

専門家として派遣先に到着すれば、まず自分たちが先方の組織においてどういう立場にあるのかを理解するようにつとめよう。使命感のみでは空回りする恐れがある。

(1)経緯

'90年11月タイ赴任当時のJICA専門家の受け入れ先は、先に簡単に説明したように内閣直属機関のONEB（Office of National Environment Board）である。ONEBには大気騒音課、水質課、試験課ほかのセクションがあり、JICA専門家は試験課が受け入れ先となった。このとき専門家としては、受け入れ先が試験課であっても、使命としてはタイ政府に、そしてその公害対策を担当するONEBに技術移転をするために来たと信じていた。ところが、たとえば大気専門家は大気騒音課に紹介されることは一向になかったので、自ら大気騒音課をたずねたところ、そこにはスウェーデン政府派遣の大気専門家がすわっていてびっくりし、またその課長からあなたがたはどういう形でここに派遣されてきたのかと質問されたことに対し、その真意がわからず返事できなかった。しかし、間もなく判明したことは、このJICAプロジェクト、すなわち日本の援助受け入れが試験課単独で進行し、局長はその承認を与えたものの、他の部課は全く関与できずに進められたこと、そのために局内で余計な反感さえ買っていた（無償供与のハードが試験課独占の形となった）ことなどである。

'92年4月、専門家到着後1年半たってようやくERTCが発足したときは、政令によってERTCは行政権限を持たない環境質推進局 (DEQP)の下に位置する形となっていた。そしてラボ要員の配属はなく、それまでカウンターパートとしていたものは一時貸してあったものだという。そのため、行政の繁忙時には全員引き揚げられるという事態も発生した。また環境モニタリングは行政的行為であり、その権限のないERTCは監視局ネットワークにはタッチさせてもらえない。新技術の試験以外には環境モニタリングに関する仕事はできないから、ERTCに供与した観測機器はモニタリング担当行政機関に移管されてしまうこととなる。機器がONEBの中のどこにあろうと専門家としては本来かまわないのであるが、“ERTCに所属した我々”は使うことができなくなった。こうして予定した技術移転内容はどんどん縮小せざるを得なくなったのである。そもそもERTCプロジェクトは23億円にのぼる施設と機器の無償供与の部分と専門家派遣による技術移転の部分とから成立しているのであるが、このことが受け入れ側にはよく理解されていなかったフシがある。

JICAがカウンターパートに技術移転を行うとき、実験器具、試薬・材料、旅費、人件費などの経費が発生する。これは受け入れ国が負担すべきものとされている。ただし、専門家自身にかかる費用はJICAとして出すことは可能である。この場合、何かのテーマの技術移転を計画しようとすると、相手側の予算なり計画を知らなければならない。ところがその種の情報は一切知らされない。責任者に質問すると口頭で早口にしゃべるだけ。たま

りかねて、何故我々に資料として出さないのかと問いただすと、不思議そうな顔をして何故必要なのか、と聞き返す。押し問答の末、彼らは、日本人専門家は自分の研究業務のために来ていると理解していることがわかった。従って、何か現地で仕事するなら経費は全額日本側が負担すべきであると考えていたようだ。

以上はまことにばかばかしい話であるが、こちら側は夢想だにしなかったことで、物事がうまく進まない原因がそういうことであったということをあとから知り、それに対応した方策を立てるまでにかなりの日月を浪費したことを残念に思う。

(2) 技術段階の理解

さて、技術移転であるが、その内容は一般化できないのでおくとして、アプローチをどう考えるか。相手がこちらと同じ理解をしているとはかぎらない。むしろ、国民性、教育の環境、階級意識などが均質な日本とはまったく異なる彼等の考えを我々の感覚で推し量ることはむずかしい。タイでの経緯はつぎのようであった。

人口5,500万のこの国で理科系の大学なり学部をもつ大学は10指に少し余るほどしかない。ということはその卒業生は大変なエリートである。そして実験というものが教授と助手によって進められるもので、学生はそれをまわりからただ見学するものという状況では知識が頭デッカチのエリートとなりがちである。たとえば、自動分析装置としての導電率SO_2計、紫外蛍光SO_2計、赤外線煙道SO_2計の存在と効用はよく知っている。しかし、パラロザニリン法という化学分析法は知らない。そこで環境モニタリングの出発点はパラロザニリン法であるとしてその実習を始めようとしたら、カウンターパートに上部からストップがかかったらしい。ザルツマン法によるNOx分析も然りである。しばらくして、「SO_2やNOxにはチャンとした分析装置が存在するのに、日本人は原始的な、安上がりな方法を教えようとしている。カネをおしみ、我々を何も知らない途上国民だとバカにしている」との評が聞こえてきた。こちらとしては、環境調査の第一ステップとしては先ず、安価で簡単な方法によって機動的に調査し、環境濃度分布を知る。その結果を解析し第2ステップとして高価な分析計を効果的に配置することができる。そういう意味でのスタートだということを根気よく説明して誤解を解くのにつとめた。数カ月して誤解は解け、さらにPassive Samplerによるモニタリングへも前進できたが、方法論の説明が十分でないとこのような問題が起こる。

また、昭和40年代から50年代はじめにかけての日本の苦い経験から、精度不明のデータによって環境対策が右往左往したこともあること、そして、環境分析では多くの場合再

分析が不可能なことからデータの出し方、取り扱い方など分析の信頼性評価ということを当初からとりあげ、日本から短期専門家も招聘するなど問題提起に努めた。しかし、この効果については、当時の経験がない段階では単なる知識に終わった感がある。これは当方の理想論からする早とちりの可能性が高い。

この「知識ですむ」という傾向は上位の職位になるほど強い。この国では様々な分野で1日か2日程度のセミナーが実に頻繁に催される。日本的感覚では、基礎も経験もなくてそんなものに出席して何がわかるかと思うのだが、この地では話は逆になっている。セミナー出席回数が勤務評定にプラスに働く。だからしょっちゅう外勤してラボに出てこない。

ERTC でようやく Training Course を開催することになり、1テーマで4週間、分析機器（ラボ分析機器と自動分析計）で2週間の実験コースを含む案を作ったところ、全部で1週間というタイ側案と衝突した。タイ側トップは、どうしてこんなに実習に時間がかかるのか、分析計の操作説明など5分もあったら十分ではないかという。あまりのギャップの大きさに言葉を失ったが、結局実習は機器分析のデモンストレーションで3時間、というのが結論で落着した。

もう一つ具合が悪いことがある。あるカウンターパートに何とか一つの分析法を会得させ、後は測定を繰り返して信頼性を高めて貰おうと期待したが、その後はどうもデスクに座り込んでいるままである。実験はどうしたと聞くと、最近入った新米にやらせているという。「私はもうわかったからいいのだ」というつもりであろうが、とんでもない考え違いである。

政府の環境政策にしても、基本法はかなり早くに制定するが実施面がついてこないのは、この「知っている」ことで「十分役に立つ」と思い込む感覚と無縁ではなかろう。こういった傾向の中でどう技術移転を効果的に進めるか、私にはまだ名案はない。しかし、ことを進めるときにこの事実を知っているのと知らないのとでは能率が全く違ったものになってくるだろう。

(3) 中高緯度でつくられた先進技術の移転であること

先進技術は中高緯度の国々で作られたものであるが、技術移転を受ける途上国は一般に抵緯度にある。そして「先進技術」を信じ込み、気候風土の違うところへ適用しようとしていることをしばしば忘れる。日本でも水質指標 BOD の意味が、発祥の地ロンドンと気候の全く違う日本でそのまま適用されてよいのかとはよく議論されたことであるが、それはそのまま熱帯にあてはまる。

たとえば、大気中の NO と NO_2 の濃度は昼間と夜間では逆転すると教科書に書いてある。しかし測ってみるとザルツマン法でも化学発光連続分析計でも逆転がなく、常に NO_2 が NO を上回る。測定手法や機器の保守に問題があるのか、と悩んでいろいろやってみたが実質的には変わらない。

また、実測した大気中 SO_2 濃度も種々の因子から予想するよりいつも低い。ところが降雨量分画式酸性雨モニターが導入されて早速動かしたところ、降り始めの雨の pH が 3.8 という硫酸濃度の高さを示した。これはここでは紫外線強度、日射、太陽高度いずれも高いことからする大気中化学物質の酸化の早いことを暗示する。NO／NO_2 の問題もここに理由を求められるかも知れない。

トリエタノールアミン捕集の SO_2／NOx 測定用 1 ケ月暴露型拡散サンプラーを用いて地方のモニタリングを行った。回収後サンプラーをあけると、濾紙がすっかり乾いてしまっており、NO 酸化剤の青色も失せて濾紙は真っ白。念のため分析しても非常に小さな値しか出てこない。そこで暴露期間が 1 週間、2 週間、3 週間、4 週間の 4 グループにわけ、分析したところ、何と 3 週間がピークで 4 週間のものは値が小さくなってしまっている。気温が昼間で 40℃にも達する上に、強烈な日射がステンレス鋼の筐体を一体何度まで加熱しているのであろうか。その熱が捕集液のトリエタノールアミンを蒸発させ、試薬も蒸散・分解させている可能性が高い。そこで日光の直射を防ぐために筐体の上に笠をとりつけて暴露したところ、4 週間暴露でも濾紙の青色が保たれているのが確認できた。

このように、私たちの知識は日本の気候風土を引きずっていることに常に思いを到さなければならない。

1.3 技術移転の実際

(1) 基本計画

はじめに当該事業の思想ともいうべき基本計画が必要である。本プロジェクトの基本設計には次のような進行計画が示されており、それに現場の状況を加味しつつ対応するテキスト作りを開始した。

a. 進行計画

第Ⅰ期　分析・解析能力の向上

第Ⅱ期　大気汚染現象解明技術の習得

第Ⅲ期　大気汚染対策技術、予測技術の開発

b. マスタープラン

計画に対応するテキスト案（マスタープラン）の当初分として以下を設定

大気汚染概論

大気汚染の化学・物理

自動車排気ガス

大気汚染質の化学分析

機器分析

自動計測と機器保守

データ解析と統計

排ガス除害技術

ケーススタディ

実習テキスト各種

c. テキスト

上記のプランに対して、まず分析技術の向上を最優先させる必要を感じて、カウンターパート教育を念頭にテキスト作りを開始した。約半年の間に報告者が準備したテキスト（いずれも英文）は次の通り。

- Sampling Method of Air／Gas and Dust／Particulate　約 40 ページ

  環境大気の sampling point の選び方、方法各種、煙道排ガスの採取における原則、大気粉塵の採取法、煙道ダストの採取法。インピンジャ、固体捕集、低温凝縮、バッグ捕集、吸収管、煙道用捕集管と足場、シリンジ捕集、デポジットゲージ、Hi-vol、Low-vol、多段分離、サイクロン、煙道断面の捕集点、排ガス流量・水分測定、濾紙捕集、インパクタ捕集、捕集システムなど

- Analysis of SO_2 and NOx in Environment and in Exhaust Gas　約 40 ページ

  環境大気:パラロザニリン法、ザルツマン法、溶液導電率法分析計、ザルツマン法分析計

  煙道排ガス：中和滴定法、PDS 法、NDIR 法

- Acid Rain : Collection and Analysis　約 20 ページ

  捕集装置各種、pH 測定、イオンクロマトグラフ分析

- Analytical Instrument 1　約 60 ページ

  定義と分類、UV／VIS、IR、OES（ICP を含む）AAS，XRF などの分光機器、GC（検出器各種）、TLC、PC、HPLC、IC などのクロマトグラフ

- Measurement of Mal-odor　約 20 ページ

日本の悪臭防止法の解説、GC 分析、官能評価

- Air Pollution in Japan　約 40 ページ(JICA 本部テキスト)

大気・煙道排ガス・自動車排ガスについての日本の歴史、対策、現状のダイジェスト

- Case Study　約 20 ページ(JICA 本部テキスト)

大阪と上海の例、汚染と対策

- Reliability of Environmental Analysis　約 10 ページ

環境データの特性、許容誤差、相関分析・回帰分析の紹介、データの桁数

- What is the Reference Material?　約 10 ページ

標準試料とは、RM／SRM、認定機関、環境用標準物質とは

- Text for Practices : SOx、NOx、etc.

それぞれ作成後、カウンターパートに講義、あるいは実習した。（湿式分析については問題が生じたことは既にのべた通り）

(2) **研修コース**

ERTC の重要な業務のひとつに国の各機関、地方機関あるいは民間会社を対象に環境対策、環境技術の研修コースを常設的に開催することがある。'92 年 3 月に予定される施設完成直後をめどに第 1 回研修コース開催が計画されたので、必要な教材を準備した。初回研修コースは 3 週間。内容を大気汚染入門、法令解説、SOx／NOx 測定、炭化水素の GC 分析とし、必要なテキストを各専門家作成分から選ぶとともに、以下をタイ側で作成するよう要請した。

- Chemistry of Air Pollution(チュラロンコン大学)　約 20 ページ
- Air Pollution and Its Effect(同)　約 30 ページ
- Law and Regulation of Air Pollution in Thailand(DPC)　約 40 ページ
- Automatic Analyzers for Air Pollutant (ERTC)　約 40 ページ
- Molecular Absorptiometry (ERTC)　約 20 ページ
- Atomic Absorption Analysis(ERTC)　約 20 ページ

大学作成（英語）以外のものはタイ語なので内容は評価できない。

またページ数は記憶によるので不確実であるが、全部あわせるとファイル 3 冊というかなりのボリュームになった。

しかし、初回 Training Course 終了後、タイ側は 3 週間にわたる研修は長すぎるとして、

一方的にその後の研修はすべて期間を 1 週間（5 日）とし、また実習はデモンストレーションとして短縮、内容は座学を中心としたものにきりかえ、そのかわり開催回数をふやした。これは、ERTC の研修コースも独立採算制とし、費用は研修料でまかなうとする中央の方針によるものである。したがってテキストの活用もそれに適するもののみとなった。つまり、地方にあまり設置されていない計測器、分析機器についての技術講習は不要であるというわけである。地方の現場ですぐに活用できないような技術講習・実習を行っても意味はない、というタイ側の論理は一面の真理であるとはいえ、日本側が技術講習とはかくあるべきを主張しても受け入れられなかったことは、JICA 専門家としては寂しいなりゆきであった。日本人専門家側からは、日本の有名公害事件、環境基準、排出基準などの講義で協力した。

(3) 研究指導による技術移転

研究指導は最低限必要と考えた技術、そして時宜にかなったテーマを選んでグループに課する。関係するテキスト、状況に応じて作成したガイドの解説を行い、データのとりかた、結果のまとめかたを指導し、さらにレポートの書き方（これに相当のエネルギーを要した）の指導を行った。実績は以下にその概要を示す。分析法は既にテキストにまとめてあるが、サンプリング、データのまとめかたは現地の状況が大きい要因となるので、ケースごとの指導が主体となる。

a. 自動車排ガス中の炭化水素組成

ガソリンエンジンの乗用車を対象とし、シャシー・ダイモメータが使えないのでアイドリング状態で排ガスをバッグ捕集した。試料ガスを、液体窒素を用いた冷却凝縮法（Cryo-focusing）でガスクロマトグラフのキャピラリーカラム先端に取り、昇温分析で C_4 以上を分離した。C_3 以下は別途吸着カラムにガス導入し分析した。自動車排ガスでは、昇温分析の厳密な再現性が信頼あるデータを得るポイントである。分析結果は車種別、走行距離別に、整理を行う必要がある。

このテーマはなお、のちにタイ側で重要研究と指定された。

b. 煙道排ガス

石油精製所の重油燃焼炉のスタックに登ってサンプリング装置をセットし、中和滴定用試料（SOx）、PDS 用試料（NOx）を採取、ラボにもちかえって分析した。立入り検査としての作業経験をつむため。

c. 酸性雨の捕集と測定・分析

当初、雨量別分画捕集器がなかったため、デポジットゲージを用いて、24〜48 時間の捕集を行い、pH 測定、イオンクロマトによる陰イオン、Na，K の分析を行った。雨季の間約 2 ケ月間測定を行った。この結果を'93 年秋、台北での学会で発表した。

d. 大気中 NO／NO_2 の湿式化学分析

24 時間サンプリングとザルツマン法による定量。目的は基本技術の修得である。

e. 移動測定車による地方の大気調査

測定計画（地方の選別、サイトの決定、測定車の設置場所）の作成及びデータのまとめを指導した。

f. Passive Sampler による SO_2／NOx モニタリング

ア) リグナイト（良質褐炭）専焼火力発電所の集中した地区を対象に、長期暴露型サンプラーの設置場所・設置条件等の指導を行った。これは、熱帯に適した設置条件探索であり、研究推進の重要な前提である。

イ)1 日暴露型を用い、幹線道路交差点の 1 週間モニタリングを実施した。

g. ドンムアン空港周辺の環境大気測定

移動測定車 2 台を用い環境大気を実測した。これは騒音測定班と協力して実施した。

h. 地球温暖化ガスの GC 分析

CH_4，CO_2，N_2O のガスクロマトグラフ分析の指導を行った。

(4) モニタリング

ERTC の業務は基本計画により、研究・研修・モニタリングとされた。

a. 既存モニタリング網の改善提案

'89 年〜'90 年の JICA 援助による分も併せて、バンコク及び南に隣接するサムトプラカーン工業地帯に合計 12 カ所に大気汚染固定監視局、バンコク市内に 3 局の自動車排ガス測定局が設置されている。

そこでこのすべての局を訪れて周囲条件、測定項目、機器の状況を調査し、配置点の変更も含めた改善提案を報告書として提出した。たとえば、すべての施設が歩道よりもさらに引っ込んだ塀の中にあったり、あるものは大変近接した距離にある。これでは汚染質の真の分布に対しては不正確な測定値を与えるおそれがある。また更新期限を過ぎた装置や、ドリフトが大きく、またそれを補正しようのないタイプの機器がまだ使われて

いる、等々の実態がわかった。しかし、カウンターパートの見解によれば、日本のように歩道上に設置したりすれば、この国では直ちに盗難の対象になってしまうといった日本では考えられない因子がここにまたある。

b. モニタリング網設置提案

タイの北部、古都チェンマイの東南約100ｋｍの山間地にリグナイトの大鉱床があり、露天掘りの採掘場所付近にこれを燃料とする火力発電プラントが11基並んでいる。リグナイトの硫黄分は3～5%と高く灰分も多いので大気汚染は深刻なことが予想される。タイ発電公社は大気監視はやっているが結果が公表されない。そこで国による監視が必要と考え、現地を調査して、各プラントの能力と位置、風向、地形を案じた上で、モニタリング網試案を作成し、ERTC を通じタイ政府へ提出した。しかし、ご多分に洩れず、役所間の力関係、それに後でわかったことであるが、本来ERTCはモニタリングに口をはさめないことから提案は行方不明となった。こういった提案はを行う際コネをたどり、効果的な所をさぐって提出する知恵が必要、というのが途上国共通の問題である。

追記

'92年、ERTCはモニタリングの権限がないことが明確化されたので以後、ERTCの職務は研究・研修のみとなった。

(5) 現場調査

環境技術を持つ集団の存在が周知されると、通常の大気汚染質以外の化学物質が原因となる問題のクレームに対処する動きが発生する。これらの調査はカウンターパートの格好の実地教育となるし、とかく腰を上げないエリートに問題を具体的に覚らせる事例なので、積極的に調査に連れて行くようにした。以下にその例をあげる。

a. 泥炭地帯における自然発火と煙の危険度・対策

状況：乾季になると泥炭地帯の表層が自然発火する。表層から燃えるので下層は蒸し焼き状態となり化学成分を含む煙が発生する。

対策：現場調査。煙には炭化水素が多く含まれるので好ましくない。原因が土地開発のための排水路掘削。開発を諦め、再び湿地化するしかない。

b. ゴミ野焼きによる煙（複数）

状況：畑地に都市ゴミ、軽工業廃棄物が投棄され、野焼きされている。

対策：当局の管理強化を申し入れる。

c. 農薬工場からの刺激臭

状況：都市周辺部にある農薬調合工場から刺激臭が発生する。

対策：工場に立ち入り、使用材料、その保護方法、工程をしらべる。不適切なところについて改善策を助言する。

d. 都市郊外のアクリルガラス工場の悪臭

状況：とくに、仕込み時のメタクリルエステルモノマーの悪臭が強い。

対策：プロセスの抜本的改良。

e. リグナイト専焼火力発電基地周辺の被害

状況：9月の季節風交代期に基地周辺の住民に呼吸困難その他の事故が発生、また植物の葉に斑点が多数みられる。

対策：かねて懸念したことが発生。直ちにチームを組んで現地に赴き、住民からの聞き取り、植物試料の採取を行う。硫酸ミストの降下はほぼ確実なため、これをもとに拡散サンプラーの設置計画を練り、研究課題として後日モニタリング実施に移す。

(6) 短期専門家の招聘

カウンターパート、あるいは当局と日常的に接する長期専門家は、当該分野についてどんな質問、ないしは対策についても応じなければならない。少なくとも「知らない」ということは最小限にとどめなければならない。しかしながら実際には当該分野といえども一専門家がすべての技術に詳しいということはあり得ない。それが単に情報でよいのなら、それを即刻問い合わせられる人脈をもつことで事はすむが、具体的な技術指導となると限界がある。そのためにその技術にくわしい短期専門家を招聘し、完全な技術移転を委託しなければならない。実績を例としてあげる。

テーマ	講師名	所属	期間
分析データの統計解析と信頼性	宮津隆	西東京大	4週間
監視データの解析とモデリング	岡本真一	東京情報大	4週間
大気中化学物質のGC／LC分析	桑田一弘	大阪府環境センター	2ケ月
大気汚染質の捕集と湿式分析	平野耕一郎	横浜市環境センター	6週間
酸性雨の捕集と分析	田中茂	慶応大	4週間
自動車排ガス	竹永裕司	東京環境研	4週間
粒子の物理と化学	芳住邦雄	共立女子大	4週間

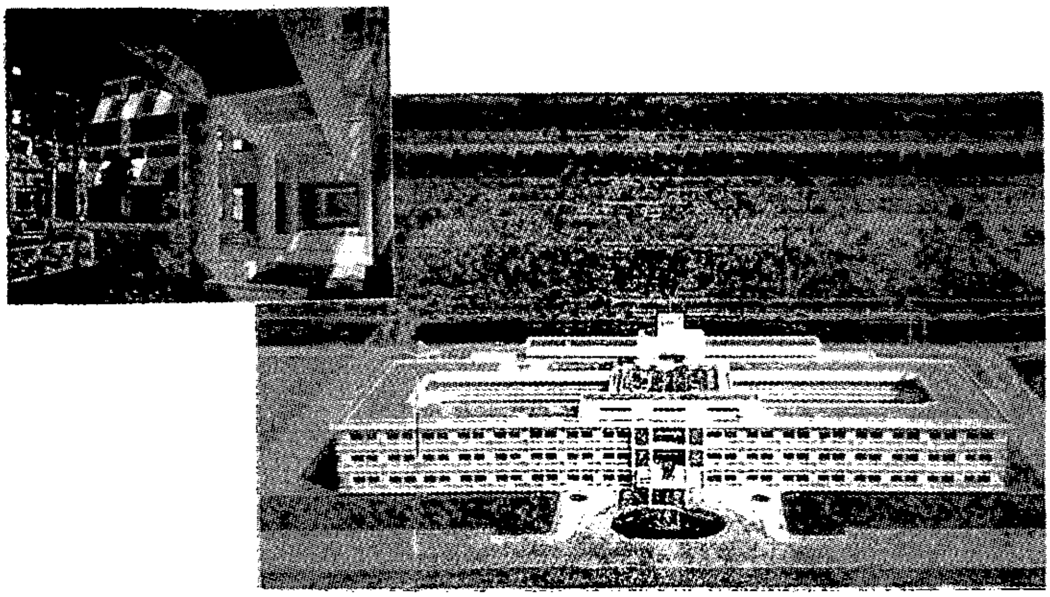


写真 1.1 タイ環境研究研修センター

写真 1.2 大気汚染物質の湿式分析

写真 1.3 ガスクロマトグラフによる炭化水素分析

写真 1.4 原子吸光による金属成分分析

写真 1.5 大気試料の補集

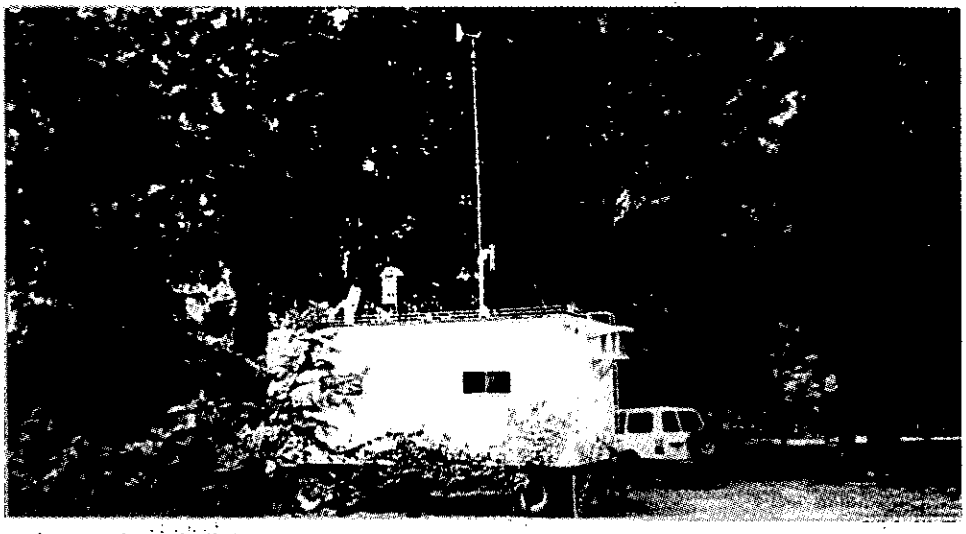


写真 1.6 タイ東北部での大気バックグラウンド測定（供与移動局による）

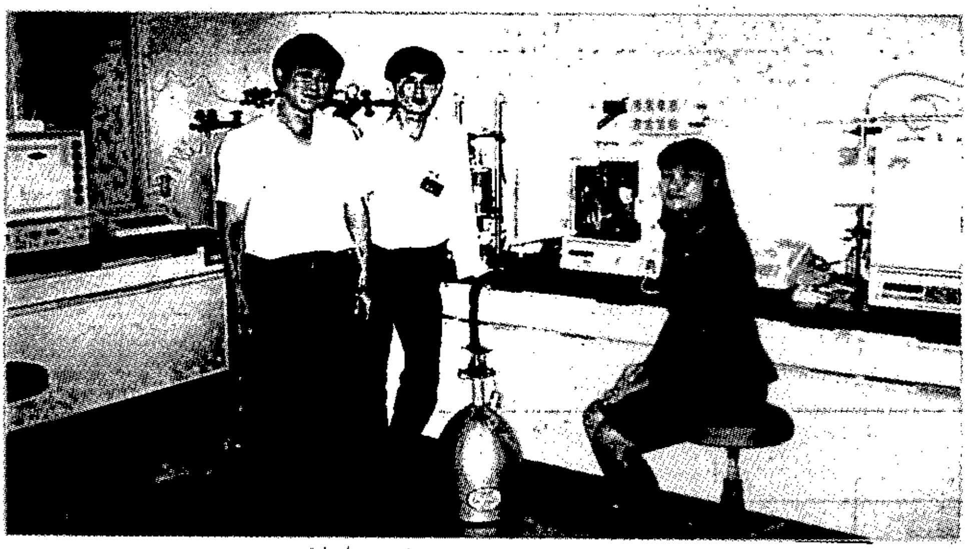


写真 1.7 ERTC ラボで大気 HC 組成の GC 分析（冷却凝縮、キャピラリーカラム）

II．固相吸着法による大気中PCBsモニタリング技術の移転

■1990.10～1994.10，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

渡辺靖二

はじめに

私は、有害物質の専門家としてタイ環境研究研修センター(ERTC)においていくつかの環境分析技術について移転を試みた。その中に、ポリウレタンフォームプラッグを詰めたチューブを使った固相吸着捕集法による大気中 PCBs(Polychlorinated biphenyls)モニタリング手法が含まれる。この一環として、1991年8月～1992年11月にかけて2ヶ月に1度のフィールドサンプリング、得られた試料の分析を2名のC/Pと共同しておこなった。直接指導した延べの期間は、およそ2ヶ月間だった。

当時の大気中 PCBs のモニタリングは、研究目的でおこなわれるものが主流であった。この種の微揮発性物質(semi-volatile compounds)の長距離輸送(long range transport)が注目されていた [1)、2)]。こうした中で大気中微揮発性物質をグローバルスケールでモニタリングする研究やローカルモニタリングのレビューがおこなわれ、多くの途上国が分布する熱帯・亜熱帯地域でのデータ不足が指摘されていた。

行政サイドでは、1990年に改訂されたアメリカの大気浄化法(Clean Air Act)において、189種の対象物質の中に PCBs がとり上げられた。日本では、大気中 PCBs の基準値は、現在まで設けられていない。タイでも大気中はもちろん、水、食品中の基準値は設けられてない。

ERTCにおいて移転すべき技術の内容は専門家に実質上任されていた。そこでなぜPCBsを選んで技術移転したのか、また、その方法は、効果は、結果は、さらに、C/P は PCBs をモニタリングできるようになったのか、ということを振り返ってみたい。本論では、(1)**技術移転する対象の決め方**、(2)**技術の内容と移転方法**として、一般化を試みながら記述する。今になってみてこうすればよかったと気づいたことも内容に含めるつもりである。

いうまでもないが、専門家になられる方々に批判的に読んでいただき、ここから少しでも役立つ情報を抽出してもらいたい。

なお、技術移転の方法を主題にするので、一連の技術移転を通して明らかにできたバンコク郊外にあるコンデンサー倉庫周辺の PCBs による大気汚染の状況についてはとくに触

れない。興味のある方は、**参考文献 3)**を参考にされたい。

1. 技術移転する対象の決め方

1.1 有害物質分野に関わる技術移転の特性

世界中で製造・使用されている人工化学物質の種類はすでに 100 万種を超え、しかも年々増加している。この種の物質は、本来生体異物であり、潜在的有害物質と考えらる。それ故に、全部の物質について環境レベルを監視することが望まれている。しかし、限られた人的・経済的資源のもとで監視できる物質の数は限られてしまう。そこで、効率的になるべくたくさんの種類をモニタリングするための多成分一斉分析手法が開発されてきた。しかしながら、こうした方法を用いている最先端の技術力のあるモニタリング機関であっても、定期的にモニタリングしている有害物質は 200 種類程度というのが現状であろう。つまり、社会的にモニタリングが必要とされている物質の一部しかモニタリングできていない。

こうした状況を考えると、有害物質の環境モニタリングは、まず使用量×毒性×生物蓄積性の積が大きいものから始めて、次第に積の小さい物質へと対象を拡大していくしかない。同時に、通常監視していない有害物質が事故などにより放出された時に、すばやく対応できる体制作りも重要である。松本サリン事件で同定を行ったのは、普段農薬の分析をされていた方と聞く。このためには、普段からモニタリング担当者が研究をおこない、応用のきく分析能力を涵養しておくことが重要である。

途上国においても、モニタリングが求められている化学物質の数は先進国に比べて少なくない。したがって、途上国に対して移転すべき環境モニタリング技術は、先進国で必要とされるものと変わらないと私は考える。

つまり「有害物質」の技術移転は、**図 2.1** に示すように、有害物質の種類を定め、それらの物質を環境モニタリングする手法が対象となる。同時に、物質の種類を増やすための技術も移転する方針で臨むのが最も適切と考える。

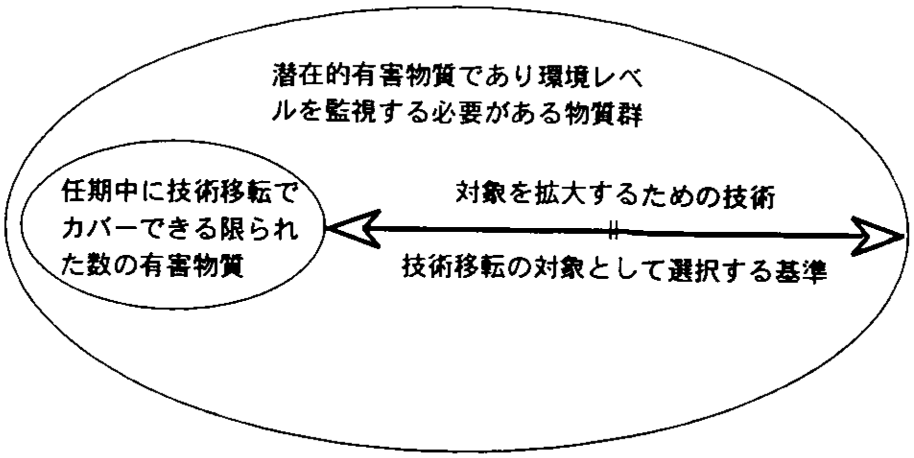


図 2.1 有害物質に関わる技術移転の特性

後者では、専門家が視点をどこに据えて、何を考慮して技術移転する対象物質を選択したのかということを C/P に理解させることが役立つにちがいない。日本においては、過剰なジャスティフィケーションは、裏に何かあるのではないかと邪推される嫌いがあるが、タイではやりすぎるということはないような気がする。

話を他の専門分野に転じると、そこには基本的な環境モニタリング項目（パラメーター）が存在するように思われる。しかも、それらのパラメーターは、例えば大気汚染についてみれば、浮遊粒子→硫黄酸化物→窒素酸化物→微量有害物質、というふうに、社会・産業の発展に伴って段階的に加わっていく傾向が認められる。こうした分野では、移転すべき技術は、基本的なパラメーターのモニタリング技術を、任国の分析技術レベルと社会状況に応じて選択すればよいことになる（有害物質に係わる技術移転がより困難であるという意味ではない）。

ここで述べておきたいことは、大気中の有害物質モニタリング技術を移転しようとする専門家は、このような分野により移転する技術のスコープちがいについて、自ら認識するだけでなく、C/P や他のスタッフ、他の専門家にも理解されるよう配慮すべきだということである。

私の任期中に、あるスタッフから”COD を分析できない者が、水中の農薬を分析するのはおかしい”というような意味のコメントを聞いたことがある。COD データと農薬データを併用することで、農薬汚染状況が理解されやすくなることはあっても、COD 分析の延長に農薬の分析があるわけではない。いきなり特定の農薬を対象に技術移転を始めるということは、この分野における環境モニタリングの特性に起因することである。また、例えばガスクロマトグラフィー手法について、パックドカラム GC→キャピラリーカラム GC→

GC/MS という技術の連続性があると誤解して、経験の乏しい C/P に対して GC/MS を技術移転するのは手順前後だ考える人もいるかもしれないが、これも勘ちがいである。図 2.2 に示すように、いずれの技術も、モニタリングする有害物質と目的に対応して存在しているのである。いわば、並列のサブシステムである。モニタリングの目的に適合するように、サブシステムを選択して、つなぎ合わせることで初めてモニタリングが可能になる。したがって、各々のサブシステム技術の修得と同等に、目的に応じてサブシステムをつなぎ合わせる技術の修得がキーポイントとなる。

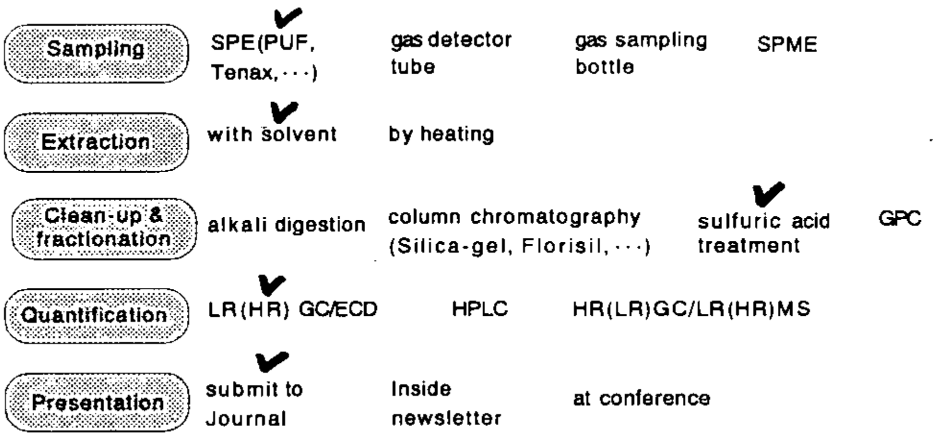


図 2.2 モニタリングのための技術の構成

ところで、森田[4]は、環境モニタリングを 3 つの段階に分けている（図 2.3）。すなわち、◎研究者の興味でおこなうモニタリング（調査(survey)が適語かもしれない）、◎行政が実態把握のためにおこなうモニタリング、◎対策を講じた後の効果を確認するためのモニタリングである。それぞれに用いられる技術は、その目的に対応して異なる。

研究の主目的は、有害物質濃度の地理的、時間的、あるいは環境媒体（生物を含む）間の変化を見つけだすことを基本にしている。一般にこの時点では対象物質の濃度は低いので、ここで用いられるモニタリング技術は、たとえそれが煩雑で高価であっても、検出限界を極力下げることが優先課題となる。しばしば、この努力にも価値が認められる。

次に、行政がおこなう実態把握の目的は、どの環境メディアに対してどのような対策を講じる必要かということを見極めることにある。したがって、汚染状況について統計的に客観的な判断をくだすのに充分な精度と数のデータを揃えることが重要になってくる。そのために複数の分析機関と協力してモニタリングする必要が出てくるので、それらをコーディネイトする技術が求められるようになる。また、ここでは、対策を講じた後の環境レ

ベルをトレースすることを見据えた手法の開発も要求される。

最終的なフォローモニタリングはルーチンのモニタリングとなる。したがって、技術の課題はデータの継続性を支える精度管理手法である。とくに、分析者・担当者が入れ替わることに対し堅牢性に優れ影響を無視できるようなモニタリングシステム作りのための技術が大切になる。

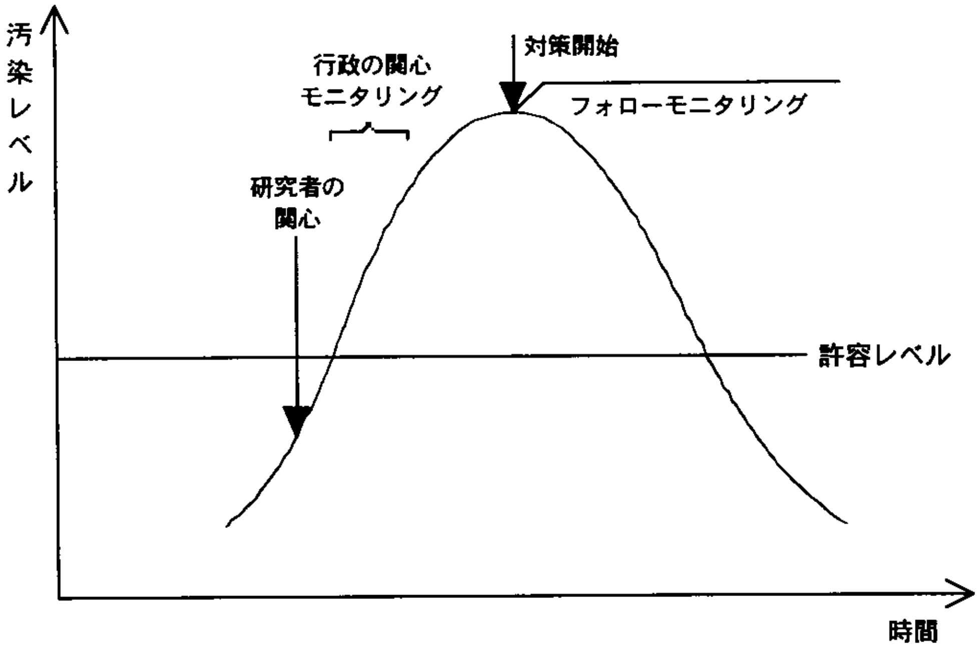


図 2.3 汚染物質による汚染レベルの時間的変化

このように、専門家は、どの段階の環境モニタリングを技術移転するのかということを、事前に認識した上で、移転する技術の適正を見直す必要がある。私が移転した技術は、研究段階のモニタリングに該当する。

これまで「有害物質」における技術移転の特性について説明してきた。次に、対象物質を PCBs とした具体的な理由を紹介する。

1.2 PCBs を対象として選んだ具体的経緯

PCBs を対象として決める際に考慮した観点を、**表 2.1** にまとめて示す。ただし、技術移転のための実習を開始するまでに、C/P がこれらの観点について理解していたわけではない。

表 2.1 テーマを決めた 7 つの観点

考慮したポイント	ERTCにおける状況
①専門家が移転する技術を熟知しているか	ERTCにおいてPCBsの同族体別定量法を開発したので、その方法を応用できた。
②必要な機材は整備されているか	大型ソックスレー脂肪抽出器などの新規購入が必要だった。(a)
③検出可能な濃度レベルであるか 検出限界ぎりぎり、あるいはそれ以下のレベルのモニタリングはC/Pにインセンティブを与えにくい。	予備調査の結果、ある施設周辺の大気がPCBsで高濃度汚染されていることがわかっていた。
④得られるデータに価値があるか？	東南アジア地域については、大気中PCBs濃度データが報告されておらず、希少価値があり、グローバル環境への有害物質供給地域としても興味がもたれている(b)。 PCBsをはじめ有害化学物質の管理体制について社会的関心があった。 調査場所の土壌、河川水中のPCBsを並行して調査するので物質循環について理解しやすい。
⑤次に有害物質モニタリングの対象を別の物質へ拡大しやすいか？比較的容易に別の物質に応用可能な分析法を用いるか？	本方法（固相吸着／溶媒抽出法）は、PAHsなど残留性有害大気汚染質にほぼそのまま適用できる。もちろん、重金属にはダイレクトに応用できない。
⑥C/Pが興味をもっているか？	興味をもっているが、PCBsに関する基礎的な知識はほとんどない。
⑦移転内容のボリュームは派遣期間にC/Pが消化するのに適当か？	C/Pの自覚の問題と考えた(c)。

表にまとめた 7 つのポイントは、どの分野の技術移転にも共通するので、あらためて説明する必要もないだろう。(a)(b)(c)のマークをつけた内容については、私の経験で配慮が足りなかったと反省している部分である。内容は、技術移転の方法をまとめた次節に含めてもよいものであるが、技術移転対象を決める観点の理解を深めるのに役立つと考えられるので、ここで説明を加える。

(a)：私は、熟考することなく、機材購入の日本側による費用負担を C/P に申し出てしまった。任国側と日本側どちらの予算を使うかということは、実にデリケートな問題である。専門家が安易に費用負担することは、派遣組織内における C/P の立場をいびつにする（他のスタッフにねたまれる）懼れがある。C/P は、一部であっても負担するために所属機関の予算を獲得するよう努力することで、責任感をもち、より真剣に技術の修得に取り組むことができたかもしれない。

さらにこのことは、所属先で購入可能な機材を使ってモニタリングできるかどうかということも考慮して、移転する技術を選ぶことが必要であるということを示唆している。よくいわれているように、所属先で購入可能な機材を見極めることは非常に困難ではあるが、この努力を惜しんではいけない。

(b)：近年、東南アジア諸国では使用される化学物質の種類と量が増加していることから、これらの国が分布する熱帯の気候条件下における有害物質の挙動に関心が高まっている。グローバル汚染の給源としての指摘も少なくない（例えば**参考文献5)**）。こうしたアカデミックな興味に基づくモニタリング技術において、一応の区切りとなる作業は、論文発表である。これが、技術移転の成果の評価ポイントになる。私の場合は、帰国後もC/Pと連名で論文を投稿した。このことは、C/Pに対して、研究を展開する技術を修得するのに効果があったと信じている。C/Pの将来にインセンティブを与えることもできたと思う。さらに、作成した主体が専門家であれC/Pであれ、論文が所属先機関の成果として内外に認識されることの効果は小さくないと思う。

しかしながら、このことは、C/Pが成果を論文発表できるだけの力を蓄えてくるのを見守っている他の専門家について、「何もしてくれない。」という誤った評価をC/Pにもたせてしまうことになった。ある専門家は、その時の状況を例えて、「ERTC側が日本人専門家を使ってホームランを打とうとしている、専門家は内野安打でもいいからC/Pにヒットを打たせるべきである。」と表現された。

こうした失敗は、プロジェクトチーム内で移転する技術としての論文発表の意味づけが論議されてなかったことに、原因があったのではなかろうか。移転する技術を選択する際に、論文発表をゴールとして目指すアカデミックな興味を主題に据えたモニタリング手法がプロジェクトにとって適当であるかどうかということを、プロジェクトで討議することが大切である。

(c)：適正なボリュームを推定するには、技術の量と費やす時間を考慮する必要がある。移転技術内容自体の把握は、次項で提案する方法によりある程度可能だろう。しかし、タイムスケジュールを作成することは非常に難しい。理由は、C/Pの能力が進捗に影響するし、必要な試薬・機材の調達に予想外の時間がかかることが多いからである。私の場合、内容把握が不十分で、事前に予定を立てないで進めていった。幸いC/Pの努力に助けられたが、例えば、フィールドサンプリングのための配車の都合から週末にサンプリングをおこなった類のことは、他のC/Pにも通用したとは思えない。現実性のある長期技術移転計画を立てることは困難なので、計画の中に、技術移転の最終的な目標を見据えて、成果を途中で

チェックするポイントを用意しておくことが有効だと思われる。

表には含めなかったが、なるべく多くの種類の機器（無償協力供与機材、供与機材）を活用するようなテーマの設定も重要である。その消極的な理由は、プロジェクトの成果に対する JICA の評価基準の中に、機材の利用率が含まれているからである。その積極的な理由は、多くの機器を利用することにより、**表 2.1** のポイント⑤モニタリングの対象を別の有害物質に拡大する能力を強化できると期待されるからである。残念ながら、当時この点にも気づかなかった。

2. 移転した技術の内容と移転方法

2.1 移転した技術の内容

移転した具体的内容を**表 2.2** にまとめて示す。すでに述べたとおりこのように細項目化した後で C/P に教えたわけではない。実際は、協同作業にあたって必要となる技術を、その都度移転していった。そのために、多くのムダがあった。事前に移転する全体の技術を項目化し、しかも文章化することで、◎全体の仕事量を明確に把握できる、◎指導し忘れる項目をなくすことができる、◎項目の構成を C/P に示すことで心構えを植えつけることができる、また、◎この記録を残しておけば、後任の専門家は継続的に技術移転しやすい、◎他の専門家が必要とし重複する項目については協同して効率よく指導できるという点が上げられる。この表に基づいた技術移転の方法は、次節で提案する。

あわせて、分析業務のマネイジメントも技術移転の対象の一つとして明確に認識されなければならないだろう。マネイジメントは、C/P が分析技術者として自立していくために不可欠な資質と考えられるからである。以下に実例を示して、説明したい。

下のスリップ（**図 2.4**）は、C/P が作成した 1992 年 10 月～93 年 9 月の研究計画の一部である。費用(Expenditure)欄が空白になっている。これは、残念ながら、私自身がマネイジメントの重要性を充分に認識しておらず、見積もりの方法を指導しなかったことを表している。

表 2.2 大気中の PCB$_S$ モニタリングに関して技術移転した内容

内容	目標
ガスクロマトグラフィー理論 　　クロマトグラムに関する知識 　　保持時間、補正保持時間 　　半値幅 　　分離度 　　理論段数	クロマトグラムの状態を定量的に表現できるようになる
高圧ガスの取り扱い（ガスシリンダーの表示法）	安全なガス使用法を理解する
装置について 　　スプリット、スプリットレスインジェクター 　　セプタムパージ・気化室パージ 　　キャリアガス 　　メイクアップガス 　　不純ガストラップ 　　APC システム 　　キャリアガス線速度と HEPT との関係 　　キャピタリーカラムの構造 　　内径・膜圧・理論段数・最大負荷量と HEPT との関係 　　FID.FPD.FTD(NPD)·ECD 検出原理 　　検出器のダイナミックレンジ・定量下限 　　インテグレーターによる積分方法 　　フィルドニードル・エアープラッグ・ソルベントフラッシュ試料注入法と分析物のディスクリミネーション GC トラブルシューティング 試料採取法 　　吸着剤（ポリウレタンフォームプラッグ：polyurethane foam plugs）の洗浄（ソックスレー脂肪抽出器利用） 　　ブランクチェック 　　破過容量（Break through）のチェック 　　ローボリュームエアーサンプラー操作法 　　気象観測：気温、風向、風速 　　試料吸入口の高さと濃度との関係等固定 PCBs 放出源周辺の大気中濃度の変化を明らかにするための試料採取場 抽出・クリーンアップ法 　　溶媒抽出 　　発煙硫酸処理・脱水	資料なしで説明できるようになる
GC/ECD による PCBs 定量法 　　パックドカラムを装着した GC を用いる方法（日本公定法：パターン法、係数法） 　　高分解キャピラリーカラムを装着した GC を用いる方法（同族体別定量法） ブランク試料の分析 添加回収試験 トラベリングブランク試料の分析	検出限界値と定量下限値を求めることができるようになる
データ処理法 　　コンピュータ処理（表計算） その他 　　科学論文の読み方 　　論文送付リクエストの書き方	表計算ソフト（Lotus123）を使って、PCB 濃度の計算、基本的な統計値の算出、図を書けるようになる

a. Theme: **Development of analytical method for PCBs in the air, water and soil samples.**

b. Name of reseachers: Ms. Ruchaya Boonyatumanond, Ms. Wanna Loavokul.

c. Name of JICA expert and his palicipation:
Dr. Seiji Watanabe
Technical advice on whole work

d. Duration: October 1992 to September 1993

e. Objectives:
To develop congener specific PCB quantification method by using Kanechlor products as secondary standard.
To survey distribution of PCBs in air, soil and soil samples near a dunp site of PCB containing electrical equipment.
....
....
....

h. Expenditure:

i. Equipment used:
Thai: for rutine PCBs analysis: HRGC/ECD (HP5890 series II)

図 2.4 研究計画書

ランニングコストを見積もるには、消耗品をリストアップし、それぞれの使用量を推定しなくてはいけない。大気中 PCBs の測定における消耗品には、ガス：GC/ECD 用水素、窒素；GC/MS 用ヘリウム；記録紙；試薬：ヘキサン、アセトン、硫酸、無水硫酸ナトリウム等がある。見積もりの例として、これら中で GC/ECD 用水素ガスの使用量の推定してみると、一度に分析するにスケジュールが、コンディショニング：16 時間（前日夕方の 5 時から翌日の 9 時まで）→STD：45 分→操作ブランク：45 分→試料 1：45 分→試料 2：45 分→STD：45 分、で合計約 20 時間かかり、GC/ECD にキャリアガスとして流す水素の速度が、column carrier：2ml/min、septum purge: 1ml/min、injector purge:50 ml/min、計 53 ml/min であるから、50 個の試料を分析する場合、次式により水素ボンベでおよそ 4 分の 1 本が導かれる。

$$\text{水素ボンベの数} = \frac{0.053 \times 60 \times 9.5 \times 50 \times 1.03}{150 \times 47} = 0.23$$

0.053：水素使用量：ℓ 1分間当たり
60：（分）
9.5：分析時間：分 1試料当たり
50：試料数
1.03：大気圧：kg/cm²
150：ボンベ圧力：kg/cm²
47：ボンベ体積：ℓ

このような内容を含めたマネイジメント技術を移転することにより、◎少なくとも分析手順を具体的に想定しながら数値化する必要があるので、分析計画をよりコンクリートなものにできる、あいまいな部分を排除する結果、◎C/P がモニタリングに要する作業量を具体的にイメージできるようになる等の効果がある。こうした作業を通して、分析の勘（私は、環境試料を分析する者として不可欠と思う）が養われるのではなかろうか。

2.2 移転方法

私の基本的技術移転方法は、説明しながら協同して分析すること、操作概要をなるべくマニュアルにまとめて手渡すこと（図 2.5）、C/P の分析データをチェックすること、さらにデータを解釈してみせることであった。例として、試料採取法に関する内容を振り返って紹介する。また、事前に PCBs に関する汚染状況や毒性に関するレビュー論文（もちろん英文）をコピーして配布した。

ここで注意したのは、口頭による説明だけでなく、ドキュメントを作成し、配布したことである。一般に海外で仕事するときはドキュメンテーションが大切であり、確かに効果を実感した。しかし、その後のフォロー（面と向かっての説明）も同様に大切であるということを強調しておきたい。私の経験では、別のテーマを技術移転した C/P も含めて、幾人かは渡したドキュメントや論文のコピーをよく読んで、必ず質問をしてくれたが、幾人かはほとんど質問してこなかった。そうこうしている間に、ドキュメントを作成している方が私も仕事をしているような気になるし、顔色を見ながら説明するよりも楽なので、技術移転の目的を資料を作ることにすり変えてしまっていた。

C/P に対する説明をおろそかにすると、C/P がどの程度技術を修得できたがを把握できなくなる。このためか、私は今でも、ERTC でおこなった仕事についての思いの中に、充実感がない空白部分がある。

ところで、私は、手渡すドキュメントには図を絵かきソフト（花子）を使って図表を入れるように努めた。それを見た C/P から、図の書き方を習いたいと申し出があったが、使用したソフトのコマンドが全て日本語だったことが隘路となって、修得させせることができなかった。ドキュメントのビジュアル化が技術移転に役立つということはいうまでもないが、英語コマンドの「お絵かきソフト」とそのデータを自由に切り張りできる英語コマンドのワープロソフトを携行することを勧めたい。あわせて、スキャナーまたはデジタルカメラがあればいっそう良い。

前節”移転した内容”の冒頭部分に書いたように、移転すべき技術の内容を細項目化し

C/P がそれらを修得できたかどうかをチェックしなかったのは残念に思っている。もし、このことの重要性に同意されるなら、各項目毎に C/P が理解できたかどうかの基準を設けて、各 C/P について一つづつクリアマークをつけていかれてはどうかと思う（図 2.6 参照）。さらにチェックした結果を C/P と共有できるといいと思う。

私は、" I want to have your proposal on this year's research because I want to check it." と赴任早々に C/P に言ってしまったために、彼との関係をギクシャクさせた経験がある。こういうことにエネルギーを浪費させることがないよう、プライドを超えた C/P との関係を構築する普段の努力が、分野に係わらず技術移転の前提になるということを強調しておきたい。

Outline of air born PCBs sampling

List of tools:

Power supply:	Electric generator (2 sets)
	Reservoir of gasoline (5 l)
	Extending cord (100 m)
	Transformer (200V to 100V, 1)
Pumping:	Low volume air sampler (3 sets, one portable type)
	Rubber tube (3 m)
	Clip stand (3 sets)
	Tape measure (50 m)
	Aluminum foil (50 cm)
Measurement of: weather condition	Anemometer (2 sets)
	Stop watch (1)
	Thermometer and humidity meter (1)
	Compass
Miscellaneous:	Screw driver (+, -), Adjustable spanner, Pliers, Cutter, Adhesion tape

Sampling procedure:

(1) A low volume air sampler is set at 25 m far from the PCB storage on the windward side, the others samplers are set individually at 2 m and 25 m far from the storage on the leeward side.
(2) The position, height from the ground, of polyurethane form column tubes will be decided at the site in considering with the situation around the storage.
(3) Air samples are collected at the rate of 20 l/min for 8 hours.
(4) One anemometer (wing type) is set at 25 m far from storage on the leeward side. Another will be used near the storage.
(5) Wind speed and direction should be recorded every 30 minutes during the start of sample collection to finishing.
(6) Air temperature and humidity also should be recorded at the same time.

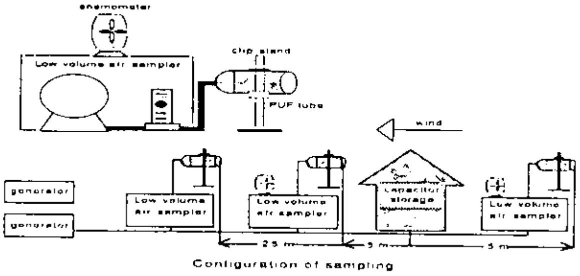


図 2.5 サンプリング方法説明用シート

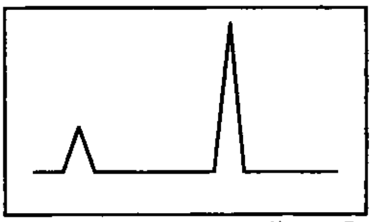
Technique	Criteria	C/P name	C/P name
Gaschromatography principle			
Retention time (Rt)	Usually what is the unit?	Clear	Clear
			
	Point the range corresponding to Rt in the above figure?	Clear	Clear

図2.6 C/Pのプログレス

おわりに

改めて私がおこなった技術移転を振ると、移転する技術の全体を把握しようとしなかったこと、細項目化してステップバイステップで進めなかったためもあって、ムダを繰り返してしまい、効率が悪かったと自身では評価している。反面、C/P から何のためにこの作業をするのかという問いが度々発せられ、その都度モニタリングの目的に立ち返って説明したことで、この点について徹底して理解させることができたと思う。結果として、こうしたムダが、現在 C/P がモニタリング対象を他の物質へ拡げる戦略作りの一助となっているのではないかと、希望的な思いもある。

ところで、C/P が大気中 PCBs を分析できるようになったかと問われれば「1μg/m^3 レベル以上の PCBs であれば、マニュアルに従ってできるでしょう。」と答えたいのだが…。

参考文献

1) S. Tateya , S. Tanabe, R. Tatsukawa, In Toxic Contamination in Large Lakes; N. W. Schmidtke, Ed.; Lewis Publishers: Chelsea, MI, 1988; Vol.3, pp237-281.

2) F. Wania, D. Mackay, Environ. Sci. Technol., 30(9), 390A(1996)

3) S. Watanabe, L. Wanna, B. Ruchaya, S. T. Monthip, S. Ohgaki, Environ. Pollut. 92(3), 289. (1996)

4) 森田　昌敏, 環技協ニュース 17, 1.（1996）

5) H. Iwata, S. Tanabe, N. Sakai, A. Nishimura, R. Tatsukawa, Environ. Pollut., 85, 15 (1994).

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-フェニルー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のにもかかわらず、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 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、実際で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パン県にあるタイ発電公社(The Electricity Generation Authority of Thailand-EGAT)が、稼動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 PTIO 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間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ついて改良し、再度比較検討試験行った結果、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。

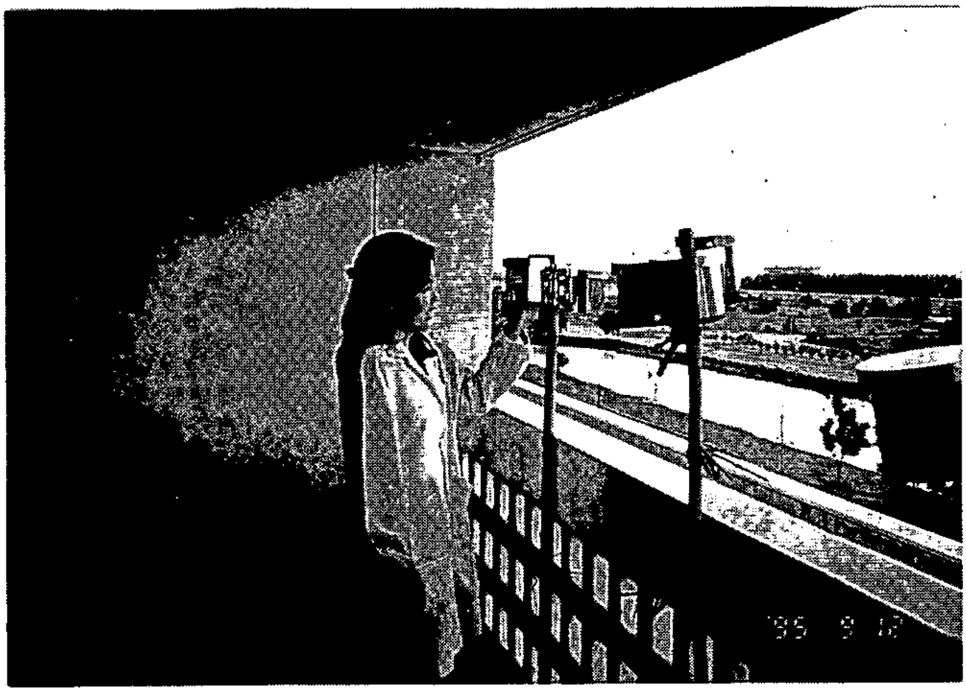


写真 3.1. L型サンプラーによる暴露試験風景（ERTC）

1.4 成果、問題と課題

最終的に NO_2 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、計器操作法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_2 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 PTIO 試薬の添加量増加実験など行ったが、無対策のものと比べて 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 Ferm (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的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パン県など数カ所で見る機会があったが、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 がノンサプレッサー方式だったため、感度が出ず分析に苦労した。

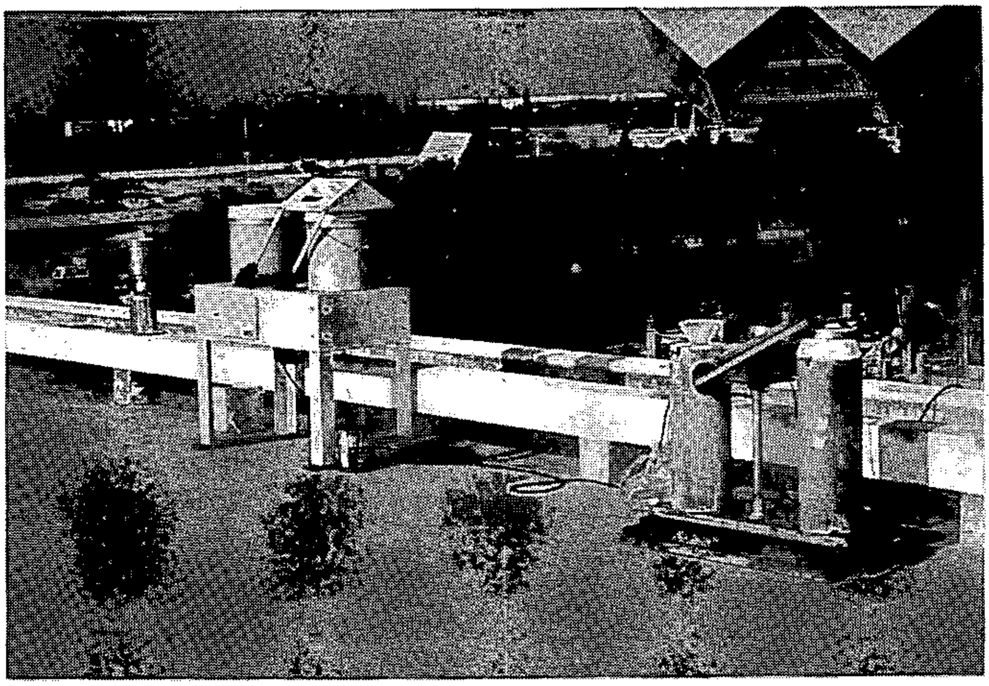


写真 3.3 酸性雨調査風景（ERTC）

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、感度の出るサプレッサー方式の 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、サプレッサー方式の 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篭や銅屋根など酸性雨影響の調査できる金属構築物はほとんどなく、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、昨今の金属構築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。

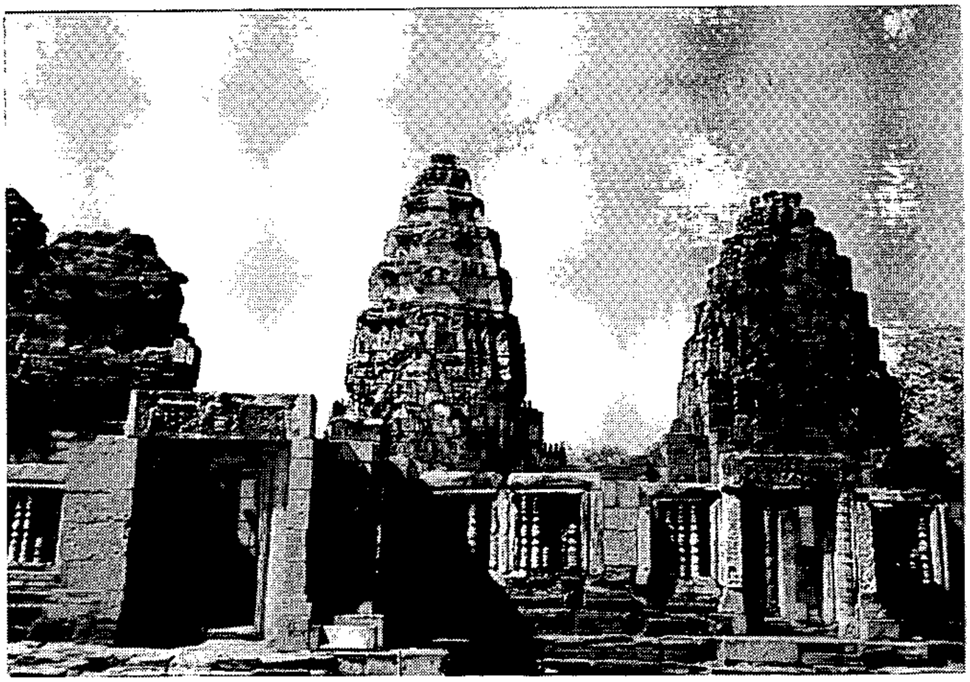


写真 3.4 ピーマイの遺跡

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、テンポラリやテクニッ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い、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 Resarch (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てなかったことから、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。

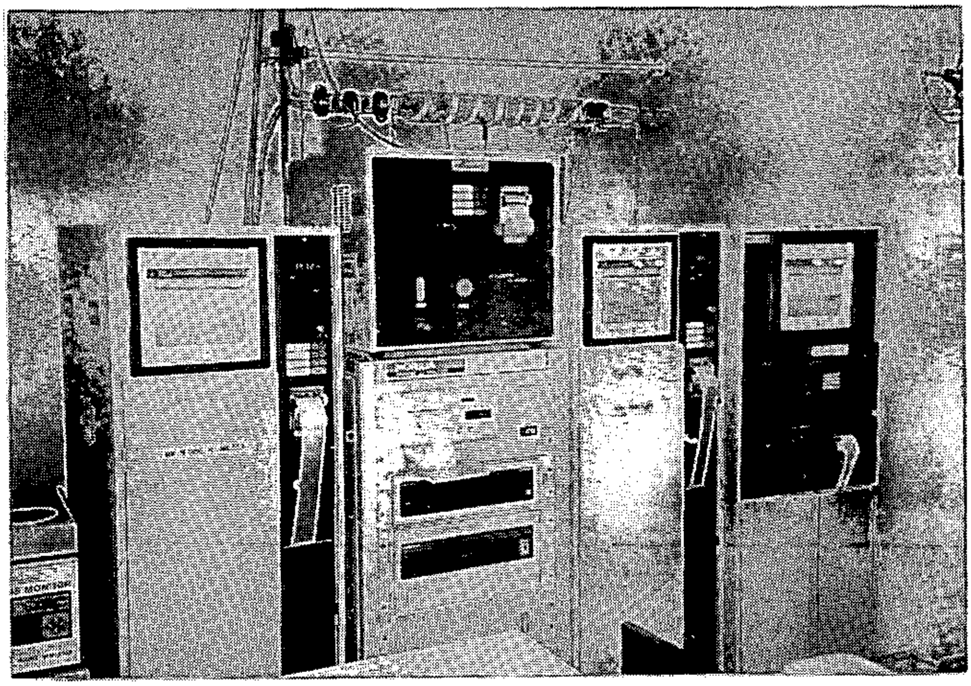


写真 3.5 環境大気モニタリング室

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。）

Ⅳ．タイ技術移転事例

■1996.4～1997.3，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

矢島 巖

1．嗅覚による悪臭測定技術の移転

1.1 技術概要

北部タイのＮ工業団地で発生した悪臭苦情の実状を調査することになった。

しかし、その内容は「夜になると工業団地の西側と東側で臭いがひどい」という程度の情報であった。また、団地内を毎時間パトロールしている地元警官に尋ねても同様の証言で、悪臭の発生源やどのような臭気かなど具体的な情報は何もなかった。そのうえ、カウンターパートで悪臭測定の経験者は１人もなく、たとえこれらが叶っても臭気成分に対応する標準物質の入手も至難なため、機器分析による臭気成分の分析を行える状況ではなかった。

そこで、機器によらず、人の嗅覚における検知閾値と臭気強度とを関連づけた６段階臭気強度法で悪臭調査をすることにし、現場指導をも含めた技術移転を行った。

その結果、フィールドワークを通して得た感覚によって、臭気に対する調査研究の興味付けができ、さらに学習会を重ねて技術を修得したいという要望が出されるようになった。

1.2 導入目的

タイには悪臭を規制する法規はない。しかし、マスコミ等の報道によれば、農水産加工業周辺及び住工混在地域等では問題が頻発しているというし、バンコク都心部を縦横に走る運河や水路の異臭も相当で、法規制への検討がなされているはずである。

そこで、近い将来悪臭の法規制が実施されることを予想し、カウンターパートに悪臭に関する調査研究の興味づけを行うとともに、実用的な臭気の測定法と評価技術について移転することを目的とした。

1.3 導入方法

技術移転をするに当たっては、カウンターパートらとあらかじめ話し合い、その全体計画を次のようなステップで進めることにした。

1.3.1 実施のステップ

第1ステップ：図上調査

対象となる工業団地の地図上に各工場の業種別または主製品を色分けし、**表 4.1.1**、**表 4.1.2** を参考に発生する臭気の傾向を推測する。

第2ステップ：学習会

表 4.2 に掲げた OHP シート等の資料による学習会を行い、発生源別の臭気の特徴と調査手法について理解する。

第3ステップ：パネラー選定方法の実習

表 4.3 に掲げる基準臭を真似た**表 4.4** の模擬基準臭を用い、嗅覚パネラーの選定方法を実習するとともに、実調査を担当する適格者の選定を行う。

第4ステップ：6段階臭気強度法による現場調査

表 4.5 に掲げる6段階臭気強度に準じた**表 4.6** の調査票を用い、昼夜2～3回の現地調査を行う。

第5ステップ：現地調査の集計と評価学習会

地図上の実測点にデータを記入して比較評価を行い、その手法を理解する。

第6ステップ：3点臭袋法による臭気濃度測定法の実習

臭袋を用い、3点臭袋法による臭気濃度測定法の操作を習得する。

第7ステップ：臭気研究計画の検討

今後の取り組み方について検討し、研究計画案を作成する。

表 4.1.1 発生源別の悪臭物質の発生状況

活動分類	悪臭物質	法定8物質 硫化水素	メチルメルカプタン	硫化メチル	二硫化メチル	アンモニア	トリメチルアミン	アセトアルデヒド	スチレン	炭化水素類	ケトン・アルデヒド類	アルコール類	エステル類	窒素化合物	イオウ化合物	低級脂肪酸類	その他
畜産農業	養豚業	◎	◎	◎		◎										○	
	養牛業	◎	◎	◎		◎										○	
	養鶏業	◎	◎			◎	◎							◎		◎	
飼料・肥料製造工場	複合肥料製造工場					◎											
	魚腸骨処理場	◎	◎	◎		◎	◎				○			◎			
	獣骨処理場	◎	◎	◎	◎	◎	◎				○		◎			◎	
	鶏糞乾燥工場	○				◎										◎	
	フェザー処理場	◎	◎	○		◎					◎			◎			
食品製造工場	コーヒー製造工場	○	◎								○				◎		
	畜産食品製造工場	○				○					○	○					
	水産食品製造工場	○				◎	◎							◎			
	調味料製造工場										○	○	○				
	つけ物工場	◎															
	パン菓子製造工場										○	○					
	製茶工場										○	○	○				
	でんぷん製造工場	◎												◎			
化学工場	石油製造工場	◎	◎	◎	◎	◎				○					◎		
	コークス製造工場	◎						◎		◎	◎						
	パルプ製造工場	◎	◎	◎	◎					◎					◎		
	セロファン製造工場	◎															
	化学肥料製造工場					◎											HF
	無機化学工業製品製造工場	○				○									○		
	石油化学系基礎製品製造工場	○	○	○						◎			◎				
	発酵工場	◎										◎	◎				
	プラスチック製造工場									○							DOP
	合成ゴム製造工場	○								◎					◎		
	レーヨン製造工場	◎													○		
	油脂加工製品製造工場									◎			◎			◎	
	塗料製造工場									◎	◎	◎	◎				
	印刷インキ製造工場									◎	◎	◎	◎				
	医薬品製造工場	○	○			○					○	○			○		
	接着剤製造工場									○	○	○	○				

◎……測定で検出された物質
○……検出される可能性のある物質

表4.1.2 発生源別の悪臭物質の発生状況

活動分類	悪臭物質	法定8物質								炭化水素類	ケトン・アルデヒド類	アルコール類	エステル類	窒素化合物	イオウ化合物	低級脂肪酸類	その他
		硫化水素	メチルメルカプタン	硫化メチル	二硫化メチル	アンモニア	トリメチルアミン	アセトアルデヒド	スチレン								
	めっき工場																無機酸
	廃プラスチック再生工場								○	○							無機酸
	FRP製品製造工場								◎	○							
その他製造工場	繊維工場	◎				◎									◎	◎	
	木材・木製品・家具製造工場									◎	◎		◎				
	印刷工場									◎	◎		◎				
	塗装工場									◎	◎	◎	◎				
	たばこ製造工場							◎		○	○	◎	◎	○			
	なめし皮製造工場	◎				◎											
	鋳物製造工場					◎					◎						フェノール，クレゾール類 アスファルト系物質
	製鉄工場	◎						◎		◎							フェノール類
サービス等・その他	廃棄物処理場	○	○	○		○			○	○							
	下水処理場	◎	◎	◎		◎				◎	◎						
	し尿処理場	◎	◎	◎	◎	◎							◎	◎		◎	
	火葬場	◎				◎		◎					◎				
	と畜場	◎	◎	◎		◎	◎						◎	◎		◎	
	へい獣処理場	◎	◎	◎		◎	◎				◎		◎	◎		◎	
	病院・診療所・検査センター	○				○						○					
	クリーニング店洗たく工場																トリクロロエチレン 四塩化エチレン(パークロロエチレン)
	飲食店	○				○											
	写真用・現像所					○											
	ガソリンスタンド									○							
	プロパンガス詰め替え所									○					◎		着臭剤
	旅館・ホテル	○				○											
	美容院・理髪店					○											
	廃品回収業	○				○											
	自動車修理工場									◎	◎		◎				
移動発生源	自動車・トラック							◎		◎	◎						
	航空機							◎		◎	◎						
建設作業現場										○	◎						フェノール，クレゾール類 (アスファルトプラント)
下水・用水		◎	○			○											
ゴミ集積所		◎	◎			◎	◎					◎	◎				
個人住宅		◎	◎			◎											

◎……測定で検出された物質
○……検出される可能性のある物質

表 4.2 講義用 OHP シートの表題と主な解説内容

No.	表 題 と 解 説 内 容
No. 1	How to Deal with Offensive Odor Pollution 悪臭公害の特質と対応の難しさの説明
No. 2	Characteristics of Offensive Odor Pollution 悪臭の多様性と原因物質との関係を産業工程別に解説
No. 3	Regulations on Offensive Odor Pollution 日本の悪臭防止法の体系と規制動向の解説
No. 4	Relation of Odor Intensity and Concentration of Odor Substance 悪臭物質の臭気強度別濃度の解説
No 5	Measurement of Offensive Odors 機器と臭覚による悪臭測定法のそれぞれの解説
No. 6	Analytical Method of Odor Substances 悪臭物質の分析法の解説
No. 7	Olfactometry 臭覚強度法の原理と方法の解説
No. 8	Olfactometry of Sample Water (ASTM D1292-65) ASTM法による水の臭気測定法の解説
No. 9	Olfactometry in the Air (ASTM D1292-57) ASTM法による大気中の臭気測定法の解説
No.10	Olfactometry in the Air By Six Grade Odor Intensity Scale 6段階臭気強度判別法の解説
No.11	Triangle Odor Bag Method for Odor Sensory Measurement 三点臭袋比較法の解説
No.12	Standard Odor for Olfactory Screening Test 基準臭によるパネラーの選別法の解説

表 4.3 基準臭

基準臭物質	臭感覚
1. β−フニルエチルアルコール	花 香
2. ミチルシクロペンテノン	焦げ臭
3. 吉草酸	体 臭
4. γ−ウンデカラクトン	果実臭
5. スカトール	糞 臭

表 4.4 実習用模擬基準臭

想定臭気	供試物	被験者の認識
1.芳香として：a	ライム	いい臭い
2.芳香として：b	バナナ	バナナの臭い
3.刺激臭として	タマネギ	ツーンとする臭い
4.不快臭として：a	くさや肉汁	いやな臭い
5.不快臭として：b	腐敗肉汁	ムッとする臭い

表 4.5　6 段階臭気強度表示

強　度	感　　覚
0	無臭
1	やっと感知できる臭い（検知閾値）
2	何の臭いかがわかる臭い（認知閾値）
3	容易に感知できる臭い
4	強い臭い
5	我慢できない強烈な臭い

表 4.6 調査票

XXXXXXX Industrial Estate Survey
DATA FORM

1 **Condition**

Location	Sampling Point :			
Date	1996. 12.	Time	: ～ :	
Weather		Temp.		Hum. %
Wind Direct.		Wind Vel.	m／sec	

2 **Investigation of Odor**

SIX GRADES ODOR INTENSITY MEASUREMENT

GRADE	EXPLANATION of ODOR INTENSITY
0	Can not feel a smell
1	Felt a perceptive limits at last. (Threshold concentration)
2	Feeble smell which what smell or understands. (Identify concentration)
3	Can feel a smell easily
4	A strong smell.
5	An intense smell. Can not stay more.
Feeling	
Remarks	

Investigator : ____________________

1.3.2 物品の準備と調達

実験及びデモンストレーションには、正規の器材等を使用しなければならないが、この国では、主な理化学器具や薬剤を輸入に頼っているため、この事例のように急拵えの調査では寄せ集めで対応する他に手段はない。

そこで、各ステップの実験及びデモンストレーションにおいては、次のような物で代用するなどの工夫をした。

(1)パネラー選定嗅覚テスト

a.模擬基準臭（表4.4に掲げた5種の臭気物質 ）

b.対照液（蒸留水）

c.手製臭い紙（定性用濾紙を幅8mm 長さ18cmに切断し、1組(5枚)を先端の相互間隔を4cmずつ離して扇形に固定。模擬基準臭の液は白色の濾紙を微かに着色して識別しやすくなるため、橙色マーカーで先端約8mmを着色して着臭紙を目立たないようにした)

(2)三点比較臭袋法実習

a.参考に持参した日本製臭い袋9枚（3回／人分）

b.ポリ瓶を利用した手製の無臭空気発生用活性炭(500g 充填)濾過器

c.アンモニア臭気定量用ガラス注射器 (100ml)

d.希釈空気用ガスメータ

e.記録紙・集計用紙

(3)風向風速の測定

臭気測定の他にも大気汚染物質の調査測定には、風向、風速と温湿度等気象条件の計測は欠かせない。しかし、この調査ではチェック済みのアネロイド風向風速計を携行したにもかかわらず、回転部の不調により使用不能になったため、狩猟術と身体計測を応用した計測法を導入しデータとして用いることにした。

この方法の半分は北米インディアンの狩の技術で、風下から獲物に接近するとき、ひとつまみの枯れ草を頭上に放り投げてその散らばる方角から風向を知ると、「動物記」の著者A.T.シートンが紹介している。

また、風速を計るには、ごく普通に声を出して「オジーチャン」と言う時間が約1秒に当たるため、そう言いながら放った紙片がその間に移動した距離を背丈や歩幅など既知の

寸法から求め、風速（m／sec)を知る方法である。

1.4 成果、問題点と課題

この調査では、相当に強い悪臭を予想していたのだが、調査日が雨季明けで連休の前日に当たっていたためか、工業団地内では企業の休業や稼働率の低下が目立ち、日中・深夜の調査とも臭気強度は、**表 4.7**、**表 4.8** に示すように低めであった。

また、周辺住民は異口同音に、「ふだんの臭気は強く、とくに夕刻から深夜にかけてがひどい。」と言っていたが、臭気の質については、ただ「薬臭い」とか「気分が悪くなりそうな臭い」など臭気物質を特定できる具体的な表現を得るには至らなかった。しかし、これは付近の工場が何をしているのか住民には全く知らさないこの国の産業施策に係わることで、住民の不明をただすことではなかった。

結局、この計画のステップは第６ステップで時間切れとなったが、カウンターパートが工業化が急速に進みつつある現況と環境の変貌をよく察知して臭気研究への弾みをつけ、ここで得た自信を梃子にさらには典型悪臭物質を中心としたガスクロマトグラフィーなどの機器分析に進むよう期待するところである。

そして、そのためには、フィールドワークに耐える足腰と、「環境を読む」感覚を鍛えることが肝要で、今後もさまざまな調査に手をそめる機会を求め、テキストやマニュアルにはないテクニックの体得に励むことが必要と思われた。

表 4.7 N 工業団地悪臭調査結果一覧（昼間調査 9:00～16:00）

測定点・至近施設	風向・風速		・温・湿度		測定者						平均値
	NSWE	m/sec	℃	%	A	B	C	D	E	F	
1　排水処理池	NW	>	33	57	2	0	1	1	2	1	1.2
2　〃	NW	>	34	69	3	2	3	5	2	3	3.3
3　〃	SW	2	34	69	2	3	3.5	2	4	2	2.6
4　外辺居住区 ①	SSW	>1	34	69	1	3	2.5	3	3	2	2.3
5　外辺居住区 ②	SE	2.5	36	69	0	0	0	0	2	0	0.3
6　排水処理池外周	---	0	35	66	3	3	2.5	2	0	2	2.6
7　廃棄物焼却炉	NW	1	38	58	3	2	2	3	3	3	2.7
8　農産物加工	NW	>1	38	59	0	2	0.5	3	3	0	0.9
9　工業団地事務局	SW	1.3	32	51	0	0	0	0	0	0	0
10　亜炭加工	SSW	>1	38	60	0	0	0	0	0	2	0.3
11　樹脂加工	W	>2	34	59	3	2	2	3	3	3	2.7
12　皮革加工	---	0	33	51	0	0	0	0	0	0	0
13　電機部品加工	NE	1	33	51	0	0	0	0	0	0	0
14　飼料加工	---	0	33	51	3	1	0.5	0	1	2	1.3
15　西側中央路	NW	1	34	59	0	0	1	0	0	0	0.2

表 4.8 N 工業団地悪臭調査結果一覧（昼間調査 22:00〜24:00）

測定点・至近施設	風向・風速・温・湿 NSWE m/sec ℃ %				測定者 A	B	C	D	E	F	平均値
1　排水処理池	E	>1	28	71	1	1	2	0	2	1	1.2
4　外辺居住区 ①	---	0	29	62	0	0	0	0	0	0	0
6　排水処理池外周	---	0	28	67	1	0	1.5	0	0	1	0.6
8　農産物加工	E	>1	29	71	1	1	1	2	3	1	1.5
10　亜炭加工	---	>1	28	70	--	0	0	0	0	--	0
11　樹脂加工　a	---	>1	28	71	2	3	2.5	3	3	--	2.7
樹脂加工　b	N	>1	28	71	3	3	3	5	4	--	3.6
14　飼料加工	W	>1	26	74	1	0	0.5	1	3	--	1.1
16　電線加工	E	>1	28	71							

1.5 日・タイ技術の相違

タイは東南アジアの国々でも先進国からの企業進出が盛んな国として知られ、経済成長の伸びを誇っているが、それらに伴う技術は進出企業がすべて自国から持ち込んだもので、労働力と水資源以外は何ひとつ間に合うものがないといわれている。

また、このことは試験研究の場においても同様で、試験実験用の器具にしても、試験管や温度計から試薬に至るすべてを輸入品に依存しなければ何もできない。

この項で述べた嗅覚による悪臭測定法技術の移転の例も同様で、欧米の方法によるか日本の方法によるか、いずれにしてもそれぞれの国から輸入しなければ実施できない。

ここで実施した臭気の簡易測定法において、アメリカ合衆国と日本の方法の比較にしても、それぞれ長所と短所があり一概には決めきれない。

ふたつの方法で大きく相違するところは、パネラーに判別させる希釈臭の容器だが、アメリカの ASTM 法では、繰り返して使用可能な注射筒を用いており、やや大まかだが悪臭のような迅速を要する感覚公害の調査には向いており、専門外の者にも近づきやすい。

一方、日本で広く行われている三点比較臭袋法は、1段階の判定ごとに6人のパネラーに対して1人3枚宛の特殊な臭袋を 18 枚必要とし、1測定の結果を得るまでに4段階を要したとすれば 72 枚の臭袋を消費することになるため、科学的にはより正確な結果が得られると思われるが、多くの手間と使い捨ての消耗資材を多用することになる。

このように、移転する技術の選択に当たってはその辺りの配慮が必要で、供与した資材

が手元にある間は使用されているが、その中のどれかが尽きると全体が機能しなくなってやがては放置され、移転した技術も定着しなくなってしまう。

そうした現状において、今後は日本流の技術のみに偏らず、広く世界の手法などを展望しながら、この国のニーズとカウンターパートの受容サイズに適合した計器の選定やテクニック等に関する技術移転を行い、その定着に留意することが特に必要と思われる。

現在、この国には悪臭防止法のような規制はない。また、悪臭の苦情が多いにもかかわらずそれを梃子に調査をしたり研究しようとする動きも鈍い。

しかし、一部の住民の犠牲に被害を及ぼしている悪臭公害も、都市に集中してくる市民の増加と都市開発の進展に伴い、やがては対応を迫られるようになるであろう。

そこで行政は、1992 年に JICA の協力により「タイ王国中小企業悪臭防止管理計画」の策定に着手し、工業省を通じて個別指導をしているが、環境分野においても測定法の開発などの対応を研究陣に求めてくると思われる。そして、研究陣もそれを意識しており、また、それに応え得る支援の継続を願うものである。

1.6 当該技術に関する関係情報源情報一覧

1.悪臭防止法	環境庁
2.悪臭防止対策マニュアル	神奈川県環境部 (1983)
3.環境科学事典	東京化学同人会 (1985)
4.タイ王国中小企業悪臭防止管理計画	JICA (1992)

2. 非定型周辺基礎技術の移転

非定型技術--これはこのマニュアルが掲げる「技術移転」、いわゆる正式な技術名がついて使用機器名も計画書も結果報告書にもなるような技術を「定型」としたとき、記録には残らないが、科学の研究には欠かせない基礎的なセンスやテクニックなど身につけてほしいワザを「非定型」としたものである。

これは、在邦のときには気にもならなかった当然のことが、生活習慣や文化、経済事情が異なる対象国では、全くといっていいほど通用しないことに突き当たって初めて思い知らされるものである。そういう目に遭うのもそこに慣れる近道かも知れないが、些細にも見える意外と大きな壁であるとき、脆くも挫折する人も多いと聞く。

そこで、わずか 1 年の任期ではあったが、時には嘆き、時にはなだめ励ましながら移転

し、定着の兆しを見せたいくつかの事例を紹介したい。

そして、今は受け入れ難いものであったにせよ、やがて技術レベルがそのことに気付く水準に達したとき、必ず思い当たることになるように願いながら、今後身を以て技術移転に当たろうとする人々の参考になればと、あえて稿を起こしたものである。

2.1 大気環境モニタリングシステムの賦活

「賦活」とは機能に活力を与えることだが、ここでは大気モニタリングシステムが所期の機能を取り戻そうとしたことの成り行きについて述べる。

(1) 赴任時の概況

ERTC は設立当初、大気環境の常時監視を行うことになっており、日本の監視機関とほぼ同様の機能を有する４組のシステム（①監視室１組　②車で牽引する移動測定車２台２組、③研修用１組）が設置されていた。

しかし、開所してすぐ、環境監視の業務が PCD(Pollution Control Department：公害規制局）に移管されたのに伴いこの業務が廃止となったため、施設の立地点における大気モニタリング用の１組と、移動車用の１組を除いて使用されなくなった。またそれと同時に、大気のモニタリングに意欲を燃やしていたカウンターパートも退職してしまい、後任はモニタリングのような地味な任務を好まず、機器の運転を臨時雇用の技能員に任せてデーターロガーによるデーターの蓄積と図化した成分濃度の経時変化を時折点検する程度で持て余し気味であった。また、筆者の赴任時、カウンターパートとともに確認した機器の状況は**表 4.9** のとおりで、このうち稼働可能な機器（表中 GOOD 表示）のみの整備点検を JICA の負担で各メーカーの地元提携企業２社（下記）に委託していた。

① KIMOTO 系：KINETICS CORPORATION LTD.

　年間委託料＝162,160 BAHT(約 78 万円)

② HORIBA 系：PICO(PETRO-INSTRUMENTSCo.,LTD.)

　年間委託料＝387,608 BAHT(約 186 万円)

しかし、電光表示のデータ以外は記録用感熱紙の印字やインク式の印字もかすれて判読不能で、ただ「動かしている」という状態であった。

表 4.9 大気環境モニタリング用機器一覧　　(確認：13.June 1996.)

No.	EQUIPMENT	TYPE	PLACE	CONDITION	REPAIR
1	SO_2 ANARYZER	KIMOTO-365P	ROOM-323	GOOD	96-3
2	SO_2 ANARYZER	KIMOTO-365P	ROOM-323	NO GOOD	
3	NO_x ANARYZER	KIMOTO-265	ROOM-323	GOOD	96-3
4	NO_x ANARYZER	KIMOTO-265	ROOM-323	NO GOOD	
5	O_3 ANARYZER	KIMOTO-845	ROOM-323	GOOD	96-3
6	O_3 ANARYZER	KIMOTO-845	ROOM-305	GOOD	
7	NM-HC ANARYZER	KIMOTO-730	ROOM-305	NO GOOD	
8	NM-HC ANARYZER	KIMOTO-730	ROOM-323	GOOD	96-3
9	RAIN MONITOR	KIMOTO-AR-102SN	ROOF	GOOD	96-3
10	RAIN MONITOR	KIMOTO-AR-102SN		GOOD	
11	SPM MONITOR		ROOF	GOOD	
12	UV METER		ROOF	NO GOOD	
13	INSOLATION METER		ROOF	NO GOOD	
14	CO MONITOR	HORIBA APMA-350E	ROOM-305	NO GOOD	
15	CO MONITOR	HORIBA APMA-350E	ROOM-323	GOOD	
16	CO MONITOR	HORIBA APMA-350E	MOBILE-1	GOOD	
17	CO MONITOR	HORIBA APMA-350E	MOVILE-2	GOOD	
18	NO_x MONITOR	HORIBA APNA-350E	MOBILE-1	GOOD	
19	NO_x MONITOR	HORIBA APNA-350E	MOBILE-2	NO GOOD	
20	HC MONITOR	HORIBA APHA-350E	MOBILE-1	GOOD	
21	HC MONITOR	HORIBA APHA-350E	MOBILE-2	GOOD	96-3
22	O_3 MONITOR	HORIBA APOA-350E	MOBILE-1	GOOD	96-3
23	SO_2 MONITOR	HORIBA APSA-350E	MOBILE-1	GOOD	
24	SO_2 MONITOR	HORIBA APSA-350E	MOBILE-2	NO GOOD	
25	SPM MONITOR	HORIBA APDA-350E	MOBILE-1	GOOD	

(2)「年代モノ」校正用標準ガスの更新

そこで、真っ先に機器の校正用標準ガスの状態を調べた。それは委託仕様書には標準ガスを ERTC が用意することになっていたからである。

標準ガスとは、各分析計器が示す ppb や ppm 単位の指示目盛を校正するための濃度既知の「標準ガス」のことだが、ユーザーが 1，2 週に一度校正するときの現場用のメートル原器に匹敵する混合ガスで、わが国の気候条件下では組成濃度の保証期間は 6 ヶ月となっている。そこで、カウンターパートとともにボンベごとの内容と充填期日を総ざらいしたが、案の定、有効期限は 5 年も前に切れていたのである。その数は 50 本。1 本を除き全て分析機器の導入時に日本から輸入したままのものであった。（**表 4.10**）

本来、分析精度の保証は比較標準物質の質と使い方に係わっているが、わが国よりも著しく高温な環境中で 5 年以上も置かれている標準ガスの濃度組成は信頼性を云々する以前

の問題である。

早速このことをカウンターパートに指摘した。だが、その答えは、「ガスの圧力が相当あるから変質の心配はない。JICAの○○先生もそう言っていた。」というものであった。確かに内容ガスが相当量あって内圧が高ければ、外部から空気等が侵入する心配はない。しかし、ボンベ内壁の金属表面と酸化性ガスの SO_2 や NO_x との反応や混合ガス相互の作用等を想定すると、間違いなく変質は進むはずである。しかも、大気モニタリング機器校正用のppmレベルの低濃度ガスについては、無視できないことである。

だが、そうした提言などは頑として受け付けない体質も相当なものである。それに加え、○○先生が"Doctor"であるだけに、権威の差は明らかということである。

そうなれば、後は当方の説を客観的なデーターで示し、理解させるしか道はない。そこで、OECCを経由して国内支援委員会大気専門部会の専門家に事情を説明し、標準ガスの安定性に関する資料の提供を求めることにした。

また、大気モニタリングを実施しているPCD（公害規制局）等他機関のモニタリングシステム**図 4.1** における標準ガスの現況についても、国内施設の整備点検を受託している前記2社のサービスマンから情報を得ることにした。

その結果、PCDのような政府機関の標準ガスは、3、4年前に設置したときの標準ガスをそのまま使用しているが、EGAT(タイ電力公社)のような営利機関では、マスコミや市民からの苦情対応もあってか、年に1度は交換するとのことであった。

そして、このことは離任間際に訪ねたタイ北部のメーモ(Mae Moh)火力発電所･･･亜炭燃焼による SO_2 公害で住民とのトラブルが絶えない････の周囲に設置されたPCDとEGATの監視ステ-ションの標準ガスを見比べたことにより実証することができた。それにしても、コンマ何ppmかの汚染物質を監視し、比較するためのモニタリングであるのに、それぞれが異なる尺度の物差しで測り、同一面上で比較しようとすることの危なさに気が付かないか、または気が付いてもそれを指摘できない「何か」に限りない不安を覚えた。

このような現実にあっても、こと標準ガスの質の確保についていえば、改善はいとも簡単である。それは、国内施設の維持点検を専門に請け負っている前記の2社が、それぞれの持ち分に応じた標準ガスをサービスカーに搭載し、そのガスで国内各施設を巡回しながら受託した機器の校正をすれば、標準ガスの変質とデーターの信頼性に関する問題は一度に解消してしまう。その上、比較的高価で外国（日本製とアメリカ製が流通している）から輸入しなければならない標準ガスの回転も速まり、一石何鳥かのメリットがあるはずである。

だが、現在の両社のセンスではできそうもない。例えば、「我々が請け負っているのは他との比較ではなく、ユーザーが提供した標準ガスに合わせてその計器を調整するだけで、そこから得たデーターの信頼性とは関係ない。」(PICO 担当者)・・・・という明快な説明がこの国の技術屋魂を暗示しているように思われ、顔を伏せたくなったものである。

もちろん、その間ERTCにおいては繰り返し標準ガスの更新を予算措置をすること、また、日本から渡来した現有50本のボンベの処分について、どのような国の制限があるか調査するよう提言し続けた。

しかし、9月になっても2社による校正は、依然として「年代モノ」で続行され、担当のカウンターパートもそれを認めているのにもかかわらず、トップには「我々は既に新しい標準ガスを使っているのに、JICA専門家はいい加減なことを言っている。」とまで言わせるようになり、残念ながら専門家チームの中でも孤軍奮闘の形勢になってしまった。

大気専門部会の委員からOECCを通じて待望の資料が届いたのは、そうした形勢の終局、依頼してから5ヶ月目のことであった。

一連の資料には、各標準ガスごとにボンベの材料別、内部の仕上げ別で、充填日から6～8ヶ月までの内容ガスの濃度変化が克明に示されていた。また一方、それを追うように、標準ガスメーカーに依頼していた資料も到着し、同様の傾向を知ることができた。そして、それらの資料に基づき、いくつかの条件をグラフ化して標準ガスの変化が数週間のうちに始まることを明示することができた。しかし、「年代モノ標準ガス」を使用した校正の不確実性を理解させることはできたが、果たして事態は好転するであろうか。すなわち、彼らが自らのデーターの信頼性に誇りを持ち、標準ガスを更新するための予算を自ら要求し手にすることが先決である。

じつに10ヶ月に及ぶ説得であったが、この稿の締め切り間際に「入った。」1本だが、銀色に輝いたボンベでカリフォルニア産の標準ガスが入ったのである。

ラベルに曰く:使用期限　1998年12月19日

CO 5490ppm　CH4 994ppm　SO2 48.7ppm　NO 48.3ppm

初めは1本でも、真の始まりはこれからである。安いものではないが今後も必要なガスから備え、更新を続けながら研究所として恥じないモニタリングデーターを示すよう期待したい。

表4.10 在庫標準ガス等の状況(Small Cylinder only)

April 1996

PLECE	INDICATIVE QUALITY	PACK DATE	GAS kg/cm^2
ROOM 219			
N_2+ CO	8.47 ppm	1991	60
N_2+ O_2	SPECIAL	1991	0
N_2+ O_2 +CH_4		1991	45
	+ ? + 4.10 ppm		
N_2+ SO_2	86.0 ppm	1991	75
ROOM 305			
O_2+ N_2	0.984ppm	1991	0
N_2+ NO	497 ppm	1991	90
N_2+ O_2 +CH_4		1991	45
	+ ? + 4.47 ppm		
N_2	SPECIAL	1991	40
ROOM 320			
Air+NO_2	4.35 ppm	1991	100
Air+NO_2	43.3 ppm	1991	90
Air+CH_4	4.92 ppm	1991	100
Air+CH_4	9.81 ppm	1991	100
Air+CH_4	301 ppm	1991	100
N_2	Special	1991	0
N_2	99.999 %	1991	0
N_2+ O_2	Special	1991	0
N_2+ CO	8.61 ppm	1991	0
N_2+ CO	36.1 ppm	1991	80
N_2+ CO	36.1 ppm	1991	100
N_2+ CO	44.8 ppm	1991	100
N_2+ CO	44.9 ppm	1991	100
N_2+ CO	64.5 ppm	1991	100
N_2+ CO	64.6 ppm	1991	100
N_2+ CO	3.00 %	1991	100
N_2+ CO	3.00 %	1991	100
N_2+ CO_2	40.3 ppm	1991	100

PLECE	INDICATIVE QUALITY	PACK DATE	GAS kg/cm^2
ROOM 320			
N_2+ NO_2	4.50 ppm	1995	100
N_2+ SO_2	0.56 ppm	1991	100
N_2+ SO_2	42.7 ppm	1991	100
N_2+ SO_2	300 ppm	1991	100
N_2+ SO_2	302 ppm	1991	90
N_2+ H_2S	4.5 ppm	1991	100
N_2+ H_2S	18.5 ppm	1991	100
N_2+C_3H_8	1.02 ppm	1991	100
N_2+C_3H_8	2.01 ppm	1991	100
N_2+C_3H_8	1.02 ppm	1991	100
N_2+C_3H_8	1.02 ppm	1991	100
N_2+CH_4+C_3H_8+CO		1991	100
	+10.0+1.4+38.6 ppm		
N_2+CH_4+C_3H_8+CO		1991	100
	+10.0+1.4+38.7 ppm		
ROOM 323			
H_2	99.999 %	1991	0
NO	0.45 ppm	1991	0
NO	1.82 ppm	1992	60
NO	87.3 ppm	1991	100
N_2+ CO	8.62 ppm	1991	0
N_2+ CO	8.82 ppm	1991	100
N_2+ NO	305 ppm	1991	90
N_2+ NO	308 ppm	1991	0
SO_2	0.52 ppm	1991	90
SO_2	45.1 ppm	1991	0
SO_2	184.3 ppm	1991	60

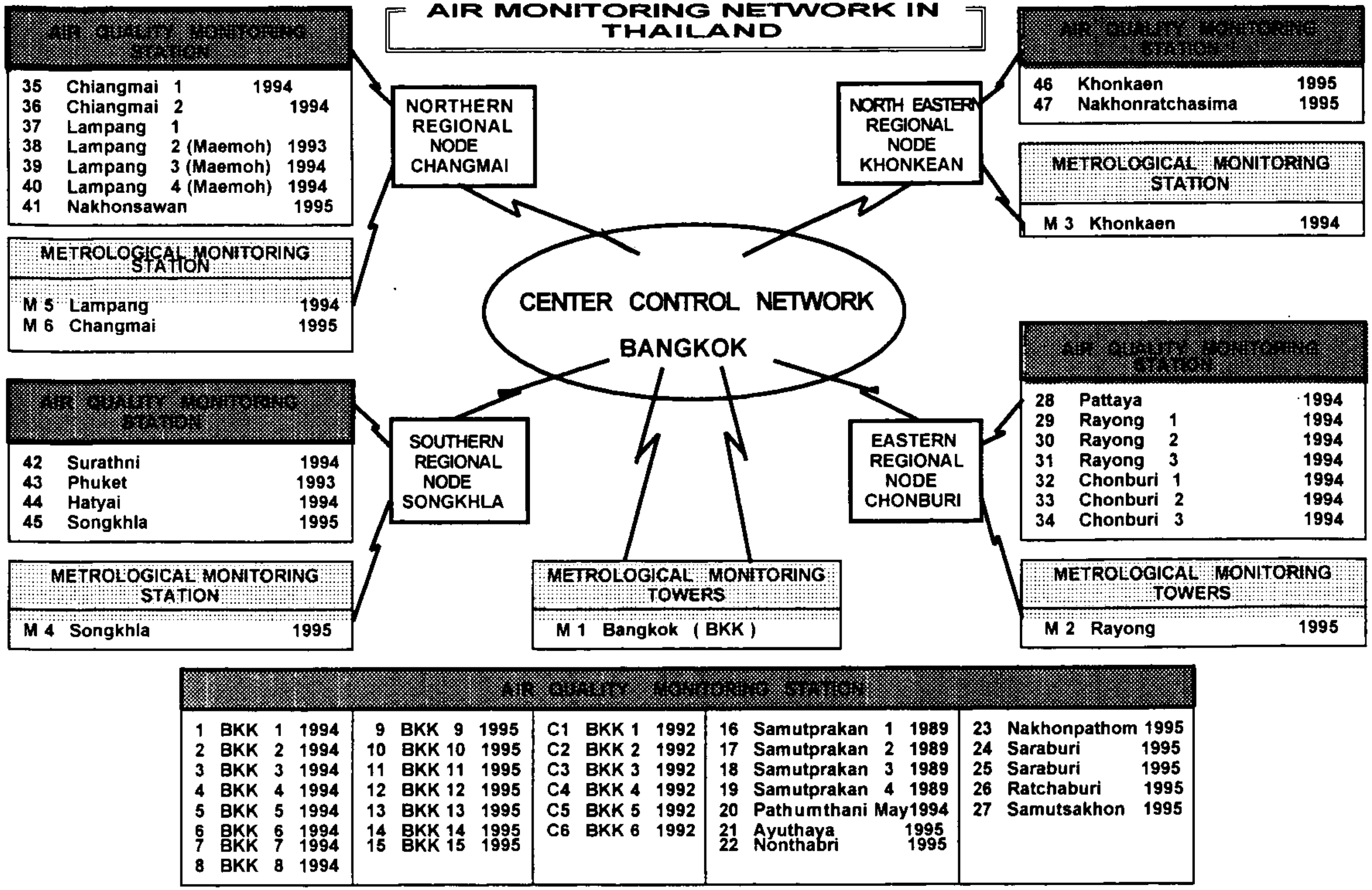


図 4.1 タイ国内大気モニタリングネットワーク

(3) 感電車

ここで述べるMOBILEとは、車で牽引するコンテナ型の移動大気監視車である。**表4.9**で示したように、ERTCには2台のMOBILEがあるが、先に述べた理由により1台は修理用倉庫で休眠し、残る1台が玄関先の庭に駐車しているが、電力ケーブルを引いていないためデータは得られず、来所する人々にその外観をアピールするだけの機能にとどまっていた。

しかし、着任後しばらくして季節が乾季から雨季に変わるのを好機に、何か特色的な大気環境のデータが採れることを予測し、MOBILEを首都圏かどこか工業地域に近い適当な地点に移動してモニタリングすることを持ちかけてみた。

もちろん標準ガスは「年代モノ」で数値の信頼性は低くても、この場合は対象とする成分濃度データーの相違を見つけ、その理由を解き明かすことを通じて環境科学におけるフィールドワークの重要性を身につけてほしかったのである。

だが、カウンターパートの反応は、「MOBILEはドアに触れても感電するから、危なくて使えない。また、原因も分からない」というものであった。

それでケーブルなしの展示物となっていたことが了解できた。また、事態が漏電であることには間違いはないので、早速私物の回路テスターを持ち、点検することにした。

見たところ、床も壁面も機器のラックにもどこにも漏電を誘発する箇所は見当たらず、分析機器のアース端子やその他のワイヤーを絶縁などを点検してみたが、これといった異常は発見できなかった。だが、天井に目を移したとき、サンプリング用のマニホールドの隙間の他に、真ん中の蛍光灯のソケット付近で水玉の光るのを発見した。そしてカウンターパートにそれを指摘してから蛍光管を外し、縦にして水滴が口金付近から滴るのを確認させた。

次いで原因究明である。蛍光灯器具を外すまでもなく、ソケットを通じて落ちてくる水は、天井板を伝っての雨漏りしか考えられない。だが、内側から見た限りそれらしい穴も見つからないため、屋根に登ることにした。

そしてフラットな屋根に立ち風向風速計のマストに掴まったとき、雨漏りの原因が判った。それは、およそ3mもの鉄パイプのマストが、天板にとめた支持金具ごと自在に動いたからで、その中央から屋根の四隅に張ったステイのワイヤーが弛んでいたのである。

風が吹くたびに揺れたマストは、テコの原理で支持金具に力を集め天板を痛めていたのである。

この国の一般電力は220Vで配電されているから、金属製のコンテナに取り付けた照明

器具が雨滴を溜めれば、漏電して高圧がそのまま全体に伝わり、作業者の安全性はもとより、微弱電圧の変化で定量値を示す機構の分析機器にも影響を及ぼし、ベースラインを乱していたに違いない。

わずか 4 本のワイヤーの弛みが、高価で有用な MOBILE を使用不能にした例である。マストを立てるとき、1 丁のモンキースパナーを有効に使って弛みを無くすよう均等に張っていれば、何事もなかったのである。

しかし、そうした現場の作業を技能員に任せきりで、自ら手に触れて弛みやその他の要所を何も点検しようとしないカウンターパートの体質には、身分差を優先した権威のみで研究者としての実力を鍛えようとしないこの国固有の気風なのであろうか。

世界的なモニタリングネットワークが進みつつあるとき、「やがてトキが解決する」などと待っていられない心境である。

2.2 ないナイ シンドロームへの対応

装置がナイ、したことがナイ、わからナイ。だから何にもできナイし、余計な仕事はしナイほうがいい。…… こうした論法での回避アピールは、わがカウンターパートに時々みうけられる。

そのニーズが経験を積むまたとないビッグチャンスだと思うのだが、先ずは頭から勇猛に拒絶してくる。とにかく、いまあることだけをしていればラクでいいし、構わないでくれというのが本心なのかも知れない。そして 100 パーセント拒絶しておいてから、やおら内容の品定めをするのもいつものパターンである。

というのも、この国の技術系公務員のうち理工科系の学卒はほんの一握りなので、機関によっては在籍してくれるだけでも有り難いというほどで、年度末に A4 判の報告書を 1 枚書けばあとは何をしていても先ず大丈夫だという。

そして、たまたま学位を目指すようなカウンターパートでもいれば、それこそ所属する本庁部局も総揚げで予算上の優遇措置をしたり、JICA や各国 ODA の資金やツルにぶら下がり優先的に遊学できるようなメリットさえ与えるほどである。

そればかりではない。学卒であればスタッフ数人ごとに 2 ～ 3 人のテクニシャンが配属され、機器の操作やデータの集計、ワープロその他の雑務をみんなしてくれるので、本人は進行管理とデータのまとめをするだけで良いような仕組みになっている。

一方、敗戦の瓦礫からフェニックスのように起ち上がって先進国に追いつき、さらに追

い越した日の丸パワーで育ったわが身としては、この国の未来を拓くカウンターパートに対して、「役立つ」技術移転をしたいという意志が刷り込まれている。だから、どうしても「良薬口に苦し」的な説きおこしをしがちである。

また、相手にもよるが、JICAの専門家が助手クラスと同様な作業に一度でも手を出したりすると、彼はテクニシャン程度の職能しかないと誤解され、以後専門家としての貫禄や指導力を失ってしまうと忠告してくれた先輩もいる。

だが、臭気測定の技術移転を例にとっても、図書室には臭気に関する文献もないというし、カウンターパートにとっては嗅覚によるか機器を使用するかにかかわらず、とにかく実験や調査は初体験の技術というときに、知識と資料を与えるだけでは何も進まない。

そこで、準備段階の一から十までを通じて、文字や言葉では伝えにくいテクニックを伝達するようにしたが、「技術移転」とは、そうした小さなテクニックの積み上げによって成り立つことを実感したのである。

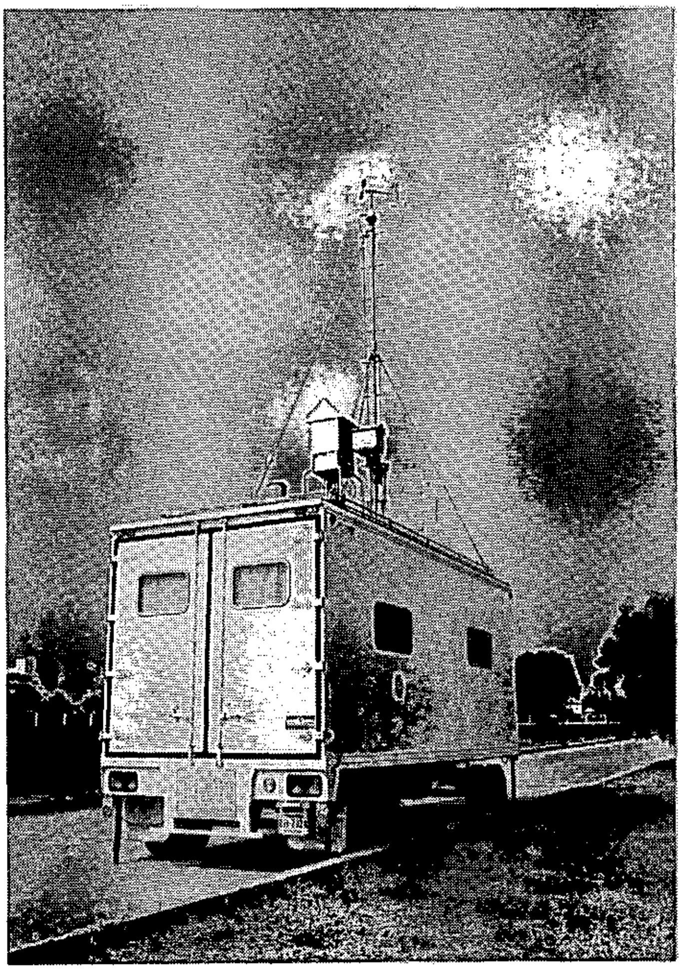


写真 4.1 感電車

V. 大気試料の機器分析法のトレーニング (Training for instrumental analysis of air pollutants)

■1991.10～1991.12, 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, 短期派遣

桑田一弘

1.技術概要 (Outline of the program)

要請の内容は、タイ国環境庁環境研究研修センター (ERTC: Evironmental Research and Training Center, ONEB: Office of the National Environmental Board)において、「機器分析 (II) ：クロマトグラフ分析」の技術指導を行うことであり、契約では平成3年10月29日～12月28日までの2ケ月間、1～2人の大気分析担当研究員に対しクロマトグラフ分析のトレーニングを行うことになっていた。

着任してみると、同じ部屋に水質、廃棄物、農薬等の分析担当研究員も机を並べており、「クロマトグラフ分析は自分達にも不可欠であり、大気分析担当者だけをトレーニングするのは不公平だ」と訴えられた。契約どおり行うこともできたが、現地の状況からして断りきれず、「大気分析担当者には悪いが、5人まとめて面倒をみましょう」ということになった。通常の1対1のトレーニングに比べ、思わぬハードな仕事になった。現地のJICA担当職員はそのような調整はしていなかった。

2. 導入目的 (Purpose)

二国間援助事業 (ODA事業) により日本からタイ国に研究研修センターの建物、施設及び分析機材等が供与されたが、センターでタイ国の環境技術者の育成を担当する研究員に対し、分析技術のトレーニングを行うのが目的であった。

また、契約とは別に、現地において「自動車排ガス中の炭化水素及び多環芳香族炭化水素 (PAHs) 分析法の確立及び地域別汚染分布調査」、「酸性雨の調査」、「光化学反応物質の調査」、「自動車の一酸化炭素排出調査」、「ゴルフ場の農薬汚染実態調査」等、11のメインテーマの研究推進に協力してほしいとの要請があった。

3. 導入方法 (Training procedures)

3.1 概要

政府幹部と研究員の要望及びセンターの研究テーマ、技術レベル等を考慮し、ガスクロマトグラフ分析（GC）、液体クロマトグラフ分析（LC）及びイオンクロマトグラフ分析（IC）について、基礎理論、応用分析等の講義及び実践指導を行った。

最初の1ヶ月間（月～金　8:30 - 17:30 但し現地祝日を除く）は、

・午前中　GC、LC 及び IC の基本理論、機器構成、応用分析に関する講義及び討論

・午　後　GC、LC 及び IC の機器組立、調整、修理及び操作法の実践指導
　標準試料の調製法、校正法の指導
　大気試料採取装置の組立及び操作法の実践指導

を行い、次の1ヶ月は

・終　日　GC、LC 及び IC 機器の修理、改造、調整、測定条件の設定、大気試料の分析等実践指導
　機器分析の指導は、GC、LC 及び IC を調整し次第、並行して実践指導を行った。

3.2 講義及び討論の進め方 (Lectures and discussion)

クロマトグラフ分析に必要な資料は、代表的教科書、関係文献、メーカーのテキスト等、かなりの量（段ボール箱 2 箱）を持参し、相手側のレベルに合わせて、現地でコピー及び英文ワープロを使用し、講義用テキスト（Textbook of Instrumental Analysis: Short-Term Lesson and Training for Liquid Chromatograhpy, Ion Chromatography and Gas Chromatography）を作成した。毎晩帰宅後作成し、1ヶ月間で 250 ページを越えるものとなった。

講義は、テキストを用い、それをオーバーヘッドプロジェクターで写し、説明した。5人以外にも講義を聴きにくるものがおり、多人数になったためである。

テキストは、講義前に現地採用の JICA 職員にコピーを頼み、各研究員に配布した。その理由は、事前に誰か一人の研究員にテキストを渡し、コピーして各研究員に配布しておくようにと頼んでも、自分で取り込んで誰にも見せなかったからである。なぜかと聞くと、「先生にもらったものは自分のもの。なぜ他人に渡す必要がある」と反論。研究員は、エリート公務員だし、プライドも高く、このようなことで専門家とよく衝突する。個々には素直で熱心な人達なのだが、こんな場合には民族性の違いを感じる。

3.3 実践指導 (Technical training for environmental analysis)

3.3.1 実験室及び施設の現状 (Laboratories)

実験室は、新館に移る前の古いものであり、設備はあるものの、スペースは狭く、換気設備や高圧ガス供給施設はなく、危険かつ極悪の環境下にあった。従って、精密分析及び毒性物質や引火性危険物を取り扱う実験を行うことは避けた。

主要な分析機材は、かつて欧米及び日本の研究調査グループが残していった機器であり、水質分析用の原子吸光分析装置を除けば、殆ど稼働していない。分析機材、工具類及び試薬も購入が制約されている。かつて外国留学した研究員が自己の研究あるいは調査のために確保していただけである。分析機器もそういう研究員が殆ど独占していた。

3.3.2 実習用機器及び機材 (Reagents, materials and instruments)

GC は、かつて日本の研究調査隊が置いていった島津 14 型を使用していた。これを大気中の低級炭化水素類分析用に改造した。

サンプリング、分析機材、工具類は、できるだけのものを持参したつもりだったが、現地に期待していた部品がなく、2 回ほど日本から取り寄せた。

先進国調査隊が残していった機材、工具、薬品類、ガラクタ等を大切に隠し持っていた研究員がおり、実習では、私の持参した機材の他に、その中から使えそうなものを修理したり、改造して利用した。

LC 及び IC は、実験室になかったので、新設研究所に供与された各 1 台を実験室に運び、調整した。LC は大気中のアルデヒド及び多環芳香族炭化水素類の (PAHs) 分析に、IC は酸性雨の分析実習にに使用した。新しく供与された IC は、ノンサプレッサータイプで、当時、性能及び操作性に問題がある機種と言われており、現地研究員が扱うには無理があると考えられたので、カラム及びサプレッサーを取り寄せ、サプレッサータイプに改造した。

3.3.3 実習内容 (Experimental)

GC：・高圧ガス、可燃性ガス、可燃性溶剤等の危険物及び有毒物質の取り扱い方
- 低級炭化水素分析用大気試料採取装置の作製
- 標準ガスの調製及び GC の校正
- GC 装置の操作
- 自動車道上における大気試料のサンプリング捕集(交通渋滞のひどい地域で採取)

・GC による大気試料中の炭化水素の分析

・大気中の炭化水素類の同定及び定量並びに濃度計算

・分析データのまとめ及び報告書の作成

LC：・ LC 機器の組立及び改造

・ LC の操作

・ 標準試料の調製及び LC の校正

・ a.ハイボリュームエアーサンプラーによる大気中の多環芳香族炭化水素類のサンプリング

b.採取試料の前処理：試料の抽出、クリーンアップ

c. LC による多環芳香族炭化水素の分析

d. 多環芳香族炭化水素の同定及び定量並びに濃度計算

・ a.セップパックカートリッジを用いる大気中のアルデヒド類のサンプリング

b.採取試料の前処理：抽出

c. LC によるアルデヒド類の分析

d. アルデヒド類の同定及び定量並びに濃度計算

・ 分析データのまとめ及び報告書の作成

IC： ・ IC 機器の組立及び改造

・ IC の操作

・ 酸性雨成分の分析

4. 成果、問題点と課題 (Results in the program and problems to be solved)

4.1 計画の達成度及び結果 (Achievement of the program)

(1) クロマトグラフの基本理論や応用方法に関して、研究員は、すでに留学や以前の講義を通じて勉強していたが、言葉上の記憶にすぎず、知識等は風化していたようであった。以前、米国の科学者から受けたクロマトグラフの講義ノートをみると、整然と記録されており、これなら、いきなり実験から始められるかと思ったが、理解しておらず、最初から出直すことになった。それまでの勉強は何だったのかなと思った。

結局、講義及び実習を通じ、基本理論を補う時間の方が長くなった。

(2) 応用分析は、空気中のアルデヒド類、悪臭物質、炭化水素類、多環芳香族炭化水素類、

酸性雨の分析等 ERTC の重要課題に関するものに絞った。特に試料のサンプリング及び前処理の基本操作及び機材の扱い方に重点をおいた。実習時に機器を稼働し、機材を使用しながら講義で解説した基本事項を再度確認した。

(3) 講義及び実習は、2ヶ月間、計画通りに遂行した。研究員は、実務経験がないため、なぜ一連の操作が必要なのか理解しにくいようであり、また、分析条件の設定には最後まで悩んでいるようだった。

最初、こちらが実験を行ってみせ、研究員にそのとおりに行ってもらった。一緒にいれば、サンプリング装置や分析機器の操作もある程度は出来るようになった。やっと機器分析の入り口にたどり着いたかという程度である。私の経験では、実務経験を積まないと機器の機能や有用性を理解するには限界があり、暫くすればまた元に戻るだろうと感じた。研究員が一人立ちするまでには、専門家について 3〜4 年はかかると思う。

(4) クロマトグラフ分析は、多くの専門分野で使用され、各分野によって機器の仕様及び操作条件が著しく異なる。今回のように研究員が多いと、講義及び実習内容が広範囲にわたり、トレーニングの焦点が絞れない。また、実習期間が短いため、各研究員に対し十分なトレーニングが出来ない。本気で専門家を養成しようとするならば、短期間においては、1対1でトレーニングするような環境が望ましい。

(5) 現地では目的の機材が入手できないので、現存の機材を駆使して意図するものを作る必要があった。機械、電気、ガラス細工等の工具類及びステンレススチール棒及び管、ガラス棒及び管、シリコンゴム、シリコンゴム管、ネジ、釘、アルミ板、組立架台等の基本材料は必需品であった。架台をつくり、ネジ穴を作り、ネジを切り、電気配線をし、ガラス器具を作るような技術は連日必要とした。例えば、サンプリング機器にメータやタイムスイッチを取り付けたり、それらの位置を変えたり、配管等をすれば容易に使用できた。

通常、研究員は、このような工作は行わず、身分の低いテクニッシャンに命令して行わせる。テクニッシャンに技術を仕込むのは社会制度上問題があるようだ。

4.2 問題点及び課題 (Problems to be improved in future)

(1) トレーニング対象の研究員は、殆どが3年以内の勤務経験にすぎず、過去に GC、LC 等の機器類の取扱い経験はなく、作動原理、応用に関する知識は乏しい。

もちろん、機器類の維持及び保守管理に関する知識はない。

一方、研究員は、関係機関との調整業務を抱えており、専門の分析業務に従事する時間は限られているようであった。トレーニング中にも度々抜けられることがあった。

(2) 研究員は留学あるいは研修で入手した資料や情報を個人財産として取り込んでおり、活用していないようであった。欧米あるいは日本で長期研修を受けた研究員は、今回講義したり、実践指導した情報よりもはるかに多くの情報に接しているはずである。取得した肩書きを武器に高所得の職場（外国企業）を求めていくケースが多く、後に何も残らないというのが実状である。

(3) 環境技術情報を調べられる図書室がない。辞典類、参考資料、雑誌等が整備されていなかった。指導した研究員は、例えば、取り扱う物質の性状、実験操作法等について調査する手段を持たなかった。留学経験者は外国から参考書や辞書類を持ち帰っているが、個人の財産となっており、他の研究員はその存在を知らないようである。

(4) 科学技術に係る社会基盤が乏しいので、自国で研究者や技術者を養成する基盤は弱い。必要な機材や試薬等がなかなか調達ができない。予算的な制約もある。

現地の研究員は「開発国なみの研究」を希望するが、社会基盤や教育制度が整備されなければ難しいと思う。ただ、本人に特別の才能とそれを生かす環境があれば別ではある。

(5) 日本からODA事業で、大型の分析機器類が供与されたが、これらを有効に稼働させる小型の機器や機材が整備されていなかった。大型分析機器の操作技術より、環境試料採取や試料の前処理等の機器や機材の取扱いの方が高度の技術を要するが、理解されていなかった。また、度々停電があるが、コンピューターや分析機器に対し、停電時のバックアップ施設がない。大事なデータが消えたり、機器等に損傷が生じている。当分の間、大型または精密分析機器はまともに稼働できないだろうと思った。

(6) 新設ERTCにおいても、労働環境及び研究者への有害物質の暴露を防止するための有害物質安全取扱い実験室及び高圧ガスや有毒ガス配管設備等の安全設備が整備されていなかった。人身事故や火災の恐れはある。

(7) 機器分析の経験不足あるいはトレーニング未経験の研究者に対しては、レベルにあわせて、一緒になって実践指導を行う必要がある。いくら高名の先生が名講義をしようが、いかに口頭で指導をしようが、実践が伴わないと仕事にならないし、歓迎もされないようである。「ここの研究者はレベルが低い」とか「この先生は口だけで何もできない」とかで、お互いに軽蔑しあっているケースがあった。上杉鷹山の言葉、「してみせて、言ってきかせて、させてみせ、褒めてやらねば、人は動かず」の精神と辛抱が肝要である。

(8) 技術援助に関する研究員の期待は、日本より欧米、特に米国、カナダに向いていた。日本よりは欧米へ留学した方が待遇のよい先進国企業へ転身しやすいからである。

当時、軍事革命の後で、欧米からの援助活動は停止されていたが、まもなく民事政権へ

移行するので、ホワイトハウス（米国大統領府）は援助を再開するつもりらしいという情報があった。ある日、研究員全員が突然無断で姿を消した。教える相手がいなくなったので、近くのレストランに休息に行ったら、そこに全員が集まって討論していた。「米国大使館員が情報を持ち帰ったので、大使館員を招いて援助内容を検討し、援助を呼び込む方法を考えている」のだという。「JICA の研修を受ける身でこのようなことをしていることが知れると拙いと思ったので黙っていた」と弁解した。不本意ではあったが、けじめをつけるため、詫びが入るまで講義と実践指導を中止した。彼等にしてみれば、先進国企業への転身に向けて、全員で将来を模索しているのである。

(9) 現地に着任した専門家は、組織等にしばられ、事実上自国から最新情報や研修器材を入手する手段を断たれている。所属機関から何の援助や協力もなく、孤立している人が多い。業務を円滑に遂行するために、着任前に所属等においてバックアップ体制を作っておく必要はあるかと思う。

4.3 業務遂行のこつ (For fruitful results of the program)

言うまでもなく、良い職場環境と仕事仲間の信頼関係を作ることである。即ち、自分のもつ技術を実践業務を通じて教え込むことにつきる。

海外出張は今回で３回目であったが、以下の事項を心がけてきた。

(1) イデオロギー、人種、宗教問題に関する言動には気をつける
(2) コミュニケーション、講義、討論及び書類作成に必要な言語(英語)は身につけておく
(3) 自分の仕事に自信を持ち、最善を尽くす
(4) 赴任国の政府幹部及び研究員と親しい関係を作る
(5) 相手側の立場を念頭におき、対等な態度でふるまう
(6) 自分の意志、意見ははっきり述べる
(7) 約束は必ず守る。無理な約束はしない
(8) 頼まれ事は、もし可能なら、できるだけ引き受ける努力をする
(9) 相手国の国情、文化、生活、習慣等には馴染む努力をする
(10) 安全衛生に気を配り、健康な心身を維持する
(11) 護身には気をつける
(12) 自分の生活を楽しむ
(13) 積極的に相手国の言語（今回はタイ語）を覚え、使う

5. 日本の技術とその他の国の技術の相違 (Differences of technical cooperation between Japan and western countries)

(1) 基本的には、日本の環境分析技術も欧米諸国のそれも大差はない。

(2) ただ、これまでに供与された日本製分析機器は、メーカー及び機種により部品の規格が異なり、目的の規格品が入手できないこと、現地に使いやすいように改造できる技術もないことから、あまり使用されていない。しかも、停電が度々起こるので、コンピュータや分析機器等は、バッテリーでバックアップされたものでないと使いづらい面があった。

(3) 一方、欧米製分析機器は、予め相手国の国情に応じて使用可能なように改造され、持ち込まれている。メーカー及び機種に関係なく部品が国際規格に統一されており、部品は比較的容易に入手でき、比較的よく使用されている。軍用仕様からきたものが多く、太陽電池、蓄電池、発電装置等の利用により、ジャングルや田舎の電力の無い場所でも使える。また、停電時のバックアップも考慮されている。調査のために持参した機材は、終了後現地に供与しているようであった。

6. 提 言 (Proposal)

6.1. 行政及び研究活動の最終目標を設定すること (Set-up of final goals of administrative and research activities)

研究技術スタッフの技術レベルをグレイドアップするために、行政施策や研究において最終目標を設定することが重要である。例えば、工業に起因する排煙や排水の規制強化、自動車排ガス規制、生活環境や労働環境における健康被害の防止等において、最終目標が具体的に定まれば、目的達成に向かって技術情報の収集、集積や技術トレーニングが容易になる。それにより、研究プログラムの方向が定まり、スタッフの技術レベルを向上させることになる。

6.2 分析装置及び機器の適切な保守管理 (Proper maintenance of analytical equipments and instruments)

ODA 事業で日本から研究所に供与された分析装置及び機器の保守管理にはかなりの財源が必要である。

通常、年間の保守管理費は装置の購入価格の5%程度が必要である。保守管理は装置に関係するサービス会社に委託するのが賢明である。特に、大型分析装置に対しては、年2回程度の定期点検を実施し、消耗部品あるいは破損部品を交換したり、また、故障時に緊急修理を行う契約が肝要である。装置は保守管理により、トラブルもなく信頼性の高い操作ができるとともに寿命も延長し、結果的には経済的なものになる。

現地幹部にも進言したが、JICAの援助が終結すれば我が国からの資金パイプが切れるので、「環境保全基金」、「委託研究」等のと言う名目で企業からセンター運営の財源を調達する何らかの措置を構ずることも一案かと思われる。

6.3 大型分析装置を稼働させるための周辺機器の整備 (Comlete supplement of small equipments for supporting large analytical aparatuses)

JICA によって供与された大型機器(GC-MS 等)を十分に駆使するまでには、相当長期間のトレーニングが必要である。環境研究や調査は、試料採取、試料処理、分析、データの評価、解析、結果の活用等の一連の過程からなり、分析は研究プログラムの一部にすぎない。研究目的に応じて、技術情報を収集し、必要な薬品、機材、部品、小型機器を揃えていく必要がある。このような分析環境が整って、大型装置の活用が可能になる。

一方、同じ仕様を持つ分析機器でも目的に応じて数台を必要とすることがある。例えば、一台のイオンクロマトグラフを酸性雨中のイオン物質と河川中のイオン物質の分析に共用することはできない。イオン物質はポンプや接続ライン等の材質組織に浸透する。試料を注入し、その後純水を流した時、イオン物質は試料濃度の1/1,000レベルで数時間溶出する。酸性雨中のイオン物質の濃度は河川水のそれの1/1,000～1/10,000であるから、河川水分析の後では、酸性雨中の数倍のイオン物質が数時間溶出する。また、一台のイオンクロマトグラフをアニオンとカチオンの両方の分析に使用することは難しい。カチオン分析の後にアニオン分析をすれば、純水で数時間洗浄した後でも、カチオン溶出液の残さNO_3^-がアニオン分析カラムを破壊する。同様に、アニオン分析の後にカチオン分析をすれば、アニオン溶出液中の残渣Na^+がカチオン分析カラムを破壊する。

停電がたびたび起こるような場所では、GC、GC-MS、LC、IC 等のトラブルや破損をさけるために、バックアップバッテリあるいは自家発電装置を設置する必要がある。いきなり停電すると、安全装置が装備されていても、電子回路に異常電流が流れたり急激な圧力変化等により、機器に重大な破損を与え、また、機器の寿命を縮める。その上、貴重な試料を失ったり、分析条件を回復するのに長時間を浪費する。

6.4 環境図書館あるいは環境情報センターの整備（Set-up of a fine library）

図書館は研究所の頭脳に相当するものであり、図書館の良し悪しが研究所のレベルを決定する。辞典類、百科事典、参考書、科学雑誌、政府刊行物（例えば、ASTM、AOAC、EPA methods、JIS 等）を整備し、スタッフが独自に研究をしたり、文献調査をできるような環境情報ライブラリーあるいは情報センターを整備することが不可欠である。

有線あるいは衛星による情報サービスシステムは世界レベルで文献、特許、書籍、出版物等を検索するのに便利である。それらは、アメリカ（例えば、アメリカ化学会の提供する Chemical Abstract）あるいはフランス（英語版）から商業ベースで提供されている。研究所にターミナルユニットを置き、電話線または衛星によってホストコンピュータに接続して必要な情報を引き出し、入手することが可能である。国際連合でもそのような情報システムを提供している。

そのような図書館は、研究所スタッフがより高度の情報を収集したり、新しいアイディアを生みだしたり、アイディアを実現する技術を生み出す源である。

第一段階として、専門辞書、百科事典、図書、雑誌及び他の情報をデスクトップコンピュータで管理することができるであろう。

有名大学や研究所の優れた図書館を参考にするとよいと思う。

6.5 情報資料の管理及び情報の共有化の促進（Management and common-use of information collected）

公費あるいは援助により留学したスタッフが留学中に入手した情報資料は、図書館において管理し、それを必要とする他のスタッフに開示すべきである。

研究及び技術レベルの向上には情報の蓄積及び共有化が最も大切である。研究及び技術レベルの高い先進研究所ではこれが徹底して行われている。

折角入手した情報が個人によって隠匿され、スタッフ間で活用されなければ風化してしまう。また、その個人が昇進等で職場を去ると、後には何も残らなくなる。そのような状態下では、研究所への技術移転は期待できない。

6.6 研究報告年報あるいは情報報告書の出版（Annual report for fuitful results of research at the center）

研究報告は、研究員にとって実りある成果、自己主張あるいは目標であり、従って、研究所における技術レベルを向上する手段でもある。定期的な出版により、ニュースや情報等

も提供できればより便利であり、研究員間のコミュニケーションも図れる。これを実現するためには、研究員全員の協力や図書の機能も必要である。有名大学や先進研究所の出版システムを参考にするとよい。

6.7 有害物質や高圧ガスを扱う安全施設の整備 (Safety management for experimental laboratories)

ポリ塩化ジベンゾダイオキシン(通称ダイオキシン)や農薬のような有害化学物質を取り扱う場合には、当事者や近くで働く人への暴露、実験室の汚染及び環境への放出をさけるために、安全な実験室を整備する必要がある。そのような実験室には、例えばバイオハザードP3室のような安全施設を施すことが望ましい。

ガスクロマトグラフ分析で使用される150気圧の高圧ガスは、もし、機材の老朽化によりシリンダー部分、接続装置あるいはガス配管が破損すれば、非常に危険である。これまで、高圧ガスが原因で多くの重大事故がおこっており、実験施設が破壊されたり、死傷者が出ている。ガスクロマトグラフ分析等に用いられる窒素ガス、ヘリウムガス、空気等に対しては、低圧ガス(5気圧以下)配管システムを設置する必要がある。高圧ガスを減圧し、1/4インチステンレススチール管で供給する。水素ガスの場合は、水素発生器を使用すると安全である。システムの管の内部をクリーンに保ち、リークを防ぐために特別の設計が必要である。また、正常の稼働を維持するために、定期保守点検が必要である。

6.8 研究員に対する講義及びトレーニング (Lecture and training for the counterparts)

私の場合、2ヶ月の派遣期間は研究員5人に対してクロマトグラフ分析をトレーニングするには短すぎた。新研究所の施設の竣工も遅れ、受け入れ設備がお粗末であったということも意図するトレーニングを難しくした。

今回のトレーニングにより、研究員等はクロマトグラフ分析の入り口に到着したかどうかの程度だったと思う。その後の連絡では、帰国後、現地専門家との折り合いが悪く、立ち枯れになったとのことである。

研究員は、総じて研究に関する才能はあり、思慮深く素直で積極性があり、英語もかなりできるように感じた。もし、誰かよい指導者が相当期間にわたり、独自の研究手法、参考文献或いは情報調査方法、実験計画の立て方と進め方、実験データの評価方法、報告の書き方等を、いくつかの研究プログラムを通して教え込めば、先進国の研究者レベルに達する潜在能力は持っている。

6.9 現地研究員と専門家間との綿密なコミュニケーション(Deep communication between an expert and couterparts in advance)

現地研究員とJICA専門家は手紙、FAXまたは E-Mail 等で当該専門分野で事前に出来るだけ綿密な打ち合わせをするべきである。それにより、より効果的なトレーニング及び実りある成果が期待される。専門家は、トレーニングの目的（Purpose of the training）、希望するトレーニング内容（Types of training requested）、使用できる機材、分析機器、試薬等の仕様（Specifications of materials, analytical instruments and reagents so far used）等について、出来るだけ詳しく知っておく必要がある。途上国では、分析機器の部品、小型機器、試薬とが不足しており、トレーニングに応じて必要な機材や試薬を持参する必要がある。

専門家が現地に着任した後では、限られた時間内に機材や試薬を調達するのは非常に困難である。事前打ち合わせがないと、実務指導が空振りになる可能性はある。

Ⅵ．タイにおける酸性雨の実態調査

■1992.7～1992.8，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，短期派遣

田中 茂

1．概要

酸性雨に関しては、多くの情報が種々のルートを通じて報告されてきている。その中で、特に耳にするのは欧州や北米での実態調査報告である。最近では、中国における酸性雨の実態が紹介され、米国に次ぐ世界第 2 位の二酸化硫黄排出量を示している中国での深刻な実態が明らかになってきた [1]。わが国においては酸性雨のモニタリングは、各地方自治体の公害研究機関等により精力的に行われており、その実態に関しては膨大なデータが積み上げられている。一方、タイ、ベトナム、インドネシア等の東南アジアは経済発展が著しく、今後飛躍的にエネルギー使用量が増加するにもかかわらず、発展途上のため大気汚染物質発生要因の少ない含有量の少ない石油、天然ガス等の化石燃料は使用できず、また脱硫や脱硝などの防止技術も高価であり設置しにくいため、今後酸性雨を含めた大気汚染問題が深刻になることが予想される地域である。それにもかかわらず、降水の採取・分析が充分に行われてはおらず、酸性雨の実態も明らかにされていないのが現状である。

そこで、本研究では 1992 年 8 月にタイのバンコク首都圏の 3 地点において降水の採取・分析を行い、その結果をもとにタイにおける酸性雨の実態を明らかにすることを検討した。

2．タイにおける大気汚染の実態 [2]

タイの経済発展はめざましいが、それに伴う環境問題も深刻化する一方であり、早急な対策が求められている。特にバンコク首都圏における急速な都市成長と、それに比較して相対的に対応が遅れ多くの問題を生じている。大気汚染に関しては輸送機関からの排気ガスが最大の要因である。**表 6.1** に示すように輸送機関からの一酸化炭素、窒素酸化物、炭化水素の排出量はそれぞれの総排出量の 87%、66%、41%を占めている。排気ガスの立ちこめる道路で交通整理を行なっている警察官の多くがマスクを着用するようになったが、血中の鉛濃度の増加、呼吸系疾患などが報告されている。

大気汚染の第 2 の原因としては工場、発電所からの排出ガスがあげられる。工業部門は総エネルギー消費量の約 50%を占め、1986 年以降それまでの燃料油、燃料材に加え、褐炭や輸入石炭の使用が増加している。全国で 3,400 の工場がボイラーを使用しており、この

うち 65%がバンコク首都圏に立地しているため、自動車の排出ガスとあいまってバンコクでの大気汚染は顕著である。

第 3 の大気汚染の原因は、家庭からの排出ガスである。都市部の家庭のエネルギー消費量のうち 47%が石炭、34%が電気によるものである。農村部の家庭で消費されているエネルギーは 52%が石炭、39%が薪炭材である。北部の山岳地帯、とくにチェンマイの盆地は家庭での燃料燃焼による大気汚染が進み、どんよりと曇った空が多くなったといわれている。

現在、タイにおける二酸化硫黄や窒素酸化物の総排出量はそれぞれの日本の 1/2, 1/3 であるが、このまま排出量の削減対策を行わずに経済が発展し続けた場合、2011 年には二酸化硫黄の総排出量は日本の 3 倍、窒素酸化物で日本の 2 倍になると予測されており、将来酸性雨問題が深刻化する可能性は大きい。

表 6.1 タイにおける発生源別汚染物質排出量 [1]

(単位：1000t/年)

排出物	1988年	発生源別割合 (%)			(予測) 2011年	発生源別割合 (%)		
		工業	輸送	発電		工業	輸送	発電
炭化水素	813	1.5	41.2	0.1	1,693	1.4	88.1	0.4
窒素酸化物	401	10.8	66.6	11.8	2,077	11.6	60.0	26.4
二酸化硫黄	552	26.4	23.1	44.4	3,186	26.8	10.8	60.3
一酸化炭素	2,054	2.5	87.2	0.3	8,404	1.6	95.7	0.4
二酸化炭素	86,338	21.1	31.8	18.8	388,600	17.9	30.8	42.9
浮遊粒子状物質	514	40.2	17.9	3.4	1,596	67.1	25.6	2.7
鉛	1	—	100.0	—	2	—	100.0	—

出典：Thailand Development Research Institute

3. タイにおける降水の採取・分析法

3.1 降水の採取期間と採取地点

1992 年 8 月、タイの首都バンコク市内およびその近郊の 3 地点において降水の採取を行った。採取地点の概略を図 6.1 に示す。ONEB (Official of National Environment Board) はバンコク市内の都心部に位置し、3 地点内で最も大気汚染の進んだ地域と考えられる。ERTC (Environmental Research and Training centre) と Pathum Thani にある Office of Industry はともにバンコクから 40km ほど離れた郊外に位置するが、タイにおける風系は恒常的に南西風であるため、前者がバンコクからの大気汚染物質の輸送経路にあたるのに対し、後者はバンコクの大気汚染の影響を余り受けないと考えられる地域である。

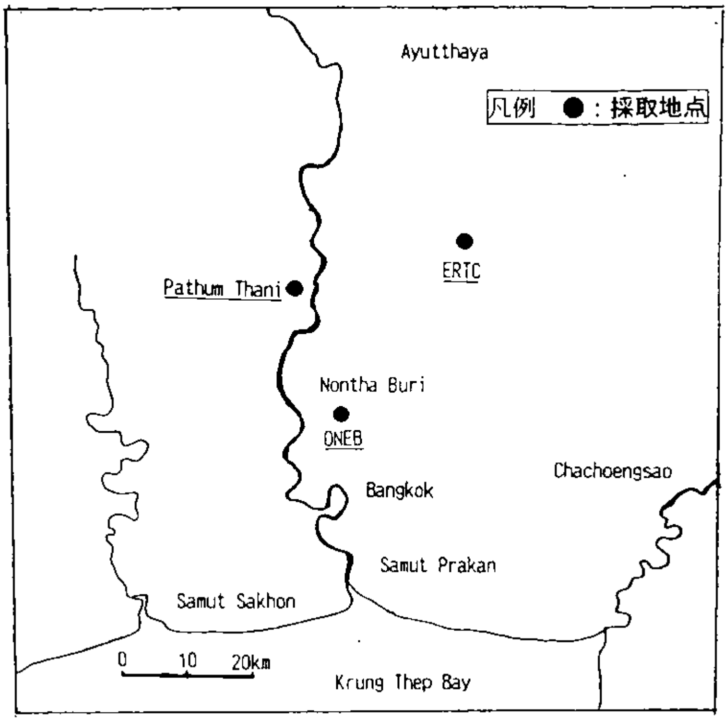


図6.1 降水の採取地点の概略（タイ・バンコク）

3.2 降水の採取・分析法

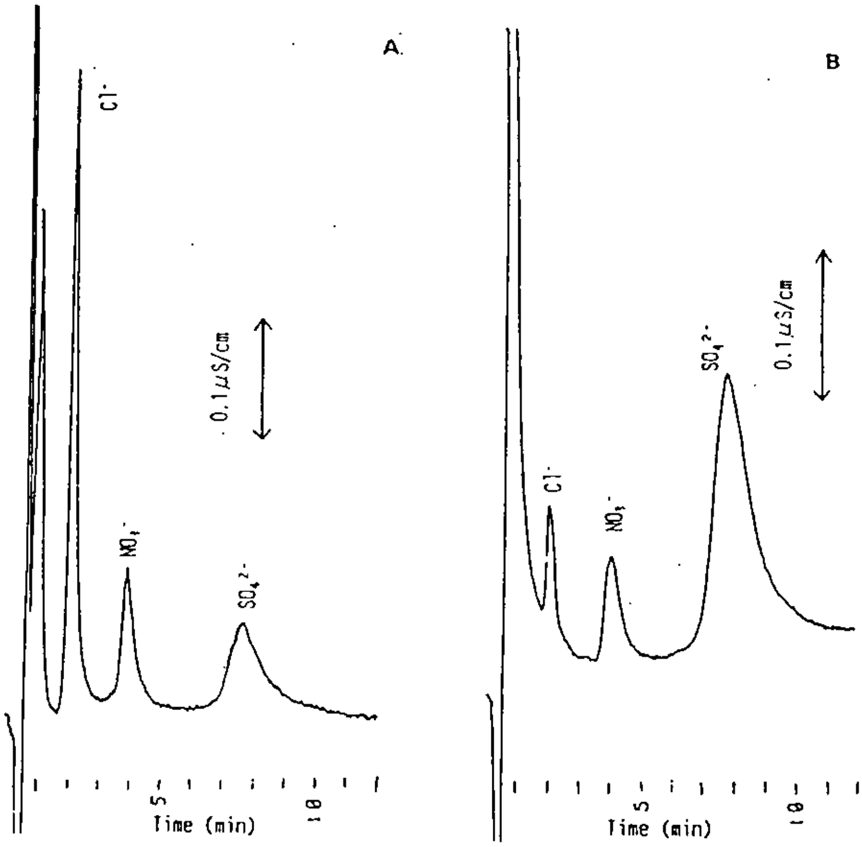
降水の採取は、柴田科学製の降水サンプラー（デポジットゲージ8808-04）を用いて行った。この降水サンプラーはバルク採取を行う装置であるため、降水以外に非降水時における乾性降下物も混入する。しかし、タイの雨期にあたる6〜9月にはほとんど毎日雨が降るため、乾性降下物の影響は少ないと考えた。

降雨日の翌日に、3地点で採取した降水をERTCに輸送し、ただちにミリポア製のメンブランフィルター（47mmϕ,Type HA,ポアサイズ0.45μm）によりろ過し、pHメーター（ハンナ、HI-8424）を用いて降水のpHを測定し、イオンクロマトグラフィーを用いて降水中のイオン成分の測定をそれぞれ行った。

表6.2にイオンクロマトグラフィーの分析条件を、また、**図6.2**、**図6.3**にこの条件で測定した標準試料および降水試料の典型的なクロマトグラムを示した。又、**写真6.1**はERTCの屋上の設置した降水サンプラー、**写真6.2**はERTCの実験室内でのイオンクロマトグラフをそれぞれ撮影したものである。

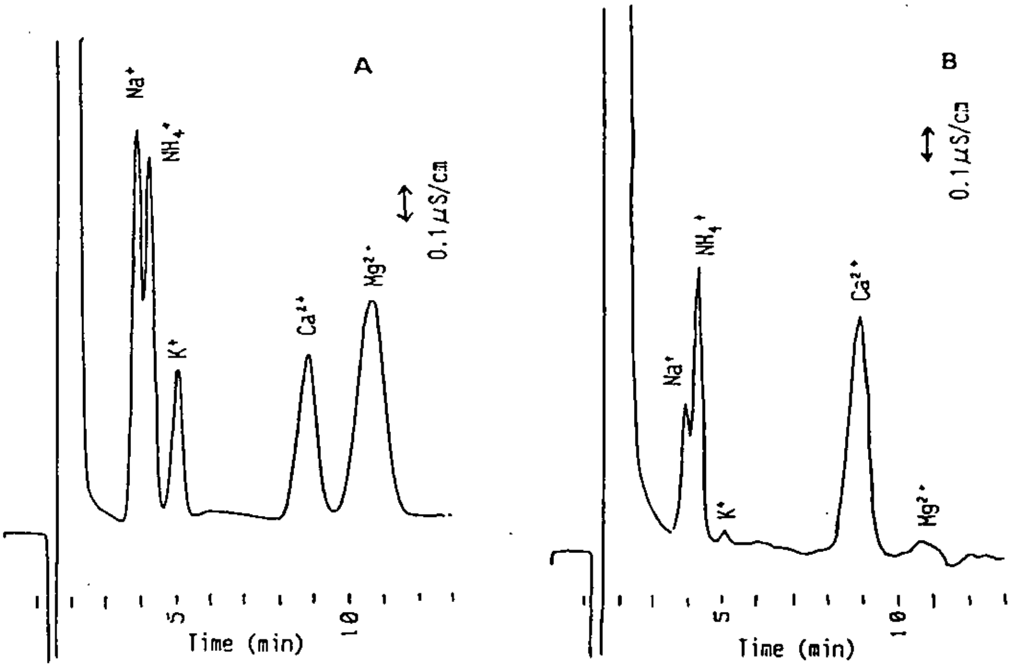
表6.2 イオンクロマトグラフィーによる降水の分析条件

Anion (Cl^-, NO_3^-, SO_4^{2-})	
Column	: HITACHI #2710-SA-IC
Eluent	: 0.75mM KHP + 2% iso-Propyl Alcohol + 5% Etylen Glycol
Flow rate	: 1.0ml/min
Injection volume	: 100μl
Detector	: conductivity detector
Temperature	: 40℃
Cation (Na^+, NH_4^+, K^+, Ca^{2+}, Mg^{2+})	
Column	: Shodex IC YD-521
Eluent	: 5mM Tartaric acid + 0.8mM Dipicolinic acid
Flow rate	: 1.0ml/min
Injection volume	: 100μl
Detector	: conductivity detector
Temperature	: 40℃



(A) : CL^-, NO_3^-, SO_4^{2-} 1ppm標準溶液　(B) : 降水試料

図6.2 陰イオンのクロマトグラム



(A):Na^{+},NH_4^{+},K^{+},Ca^{2+},Mg^{2+}1ppm標準溶液 (B):降水試料

図6.3 陽イオンのクロマトグラム

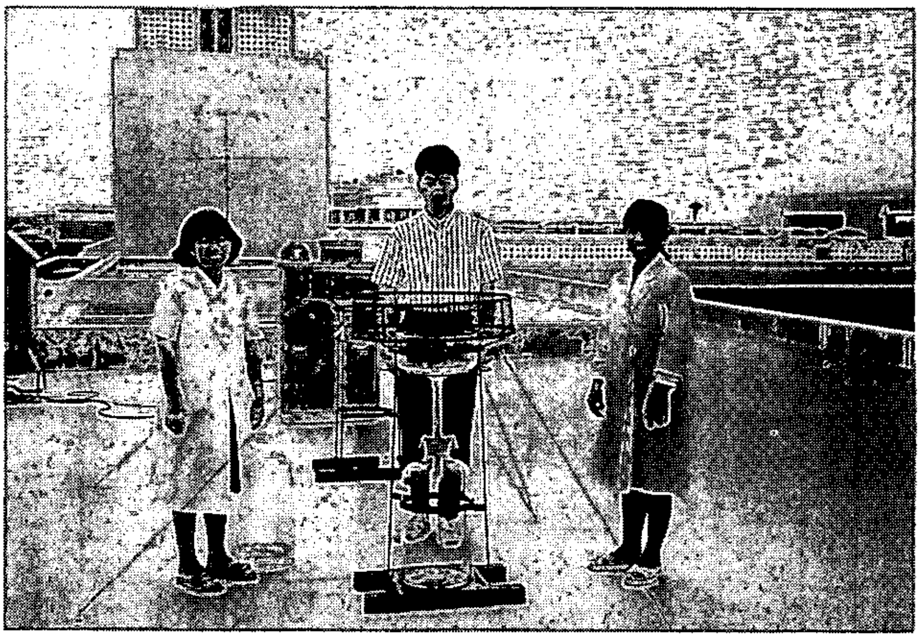


写真6.1 降水のサンプリング地点(タイ・ERTC屋上)

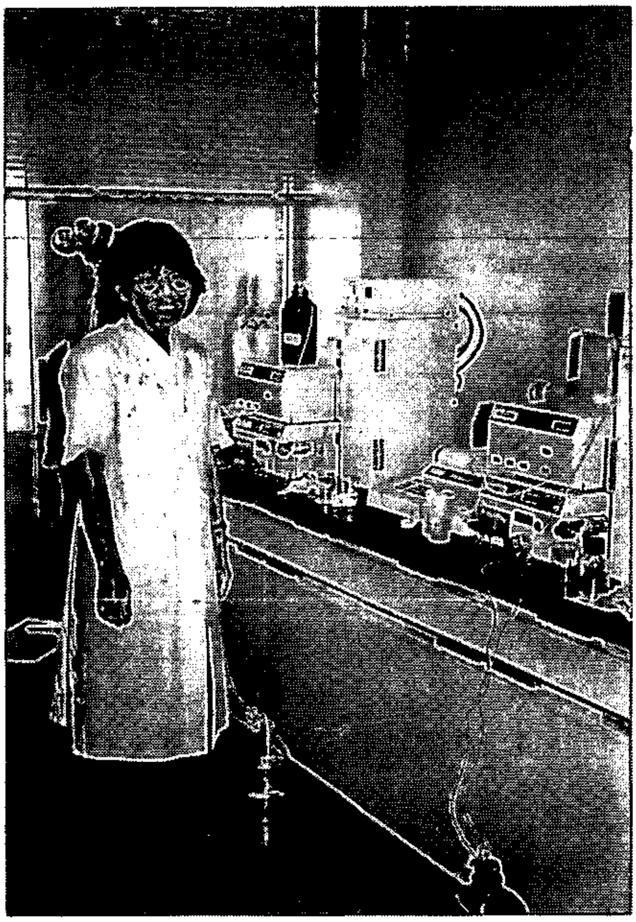
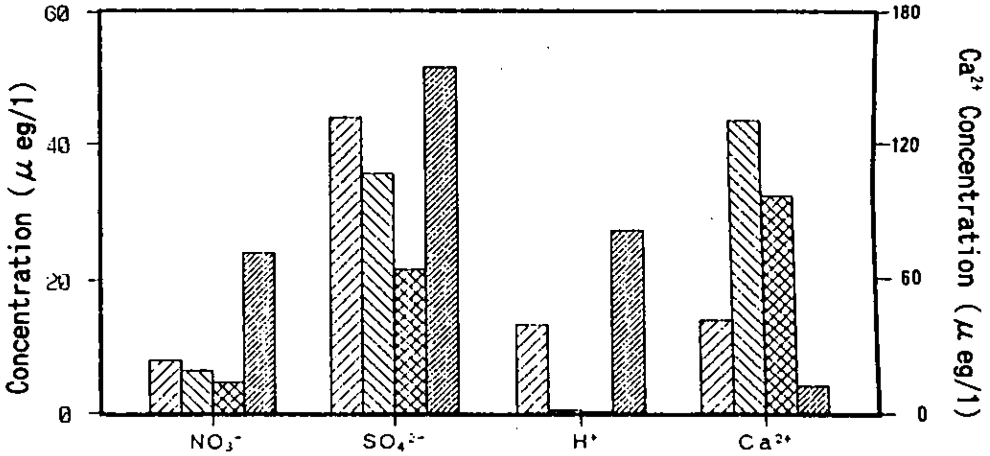


写真 6.2 タイ・ERTCの実験室内

3.4 タイにおける降水中の化学成分の分析結果

図6.4および表6.3に、1992年8月のタイにおける降水中の化学成分の分析結果を示す。



(1992年8月、タイ・バンコク)

図6.4 降水中化学成分濃度の地点比較

表 6.3 雨水中化学成分の分析結果

(1992 年 8 月、タイ・バンコク)

Sample name	Sampling period	Rainfall (mm)	pH	Concentration (μeq/l) Cl^-	NO_3^-	SO_4^{2-}	H^+	Na^+	NH_4^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Ani.[a]	Cat.[b]	Ani./Cat.
Samples collectad at ERTC															
E92-01	7/29-30	63.7	4.59	3.4	6.8	24.0	25.7	8.3	4.4	1.0	17.0	3.3	34.1	59.8	0.57
E92-02	7/30-31	16.3	5.23	14.4	1.9	15.0	5.9	28.3	11.7	2.1	10.0	5.0	31.3	62.9	0.50
E92-03	7/31-8/3	4.0	4.49	23.4	25.2	142.7	32.4	62.2	23.3	3.9	92.0	14.2	191.3	227.9	0.84
E92-04	8/3-4	34.5	4.48	7.0	12.4	82.9	33.1	17.0	22.2	4.1	42.0	5.0	102.4	123.4	0.83
E92-05	8/4-5	1.0	4.15	6.2	38.9	147.9	70.8	18.3	43.3	2.8	71.0	8.3	193.0	214.5	0.90
E92-06	8/5-6	8.8	5.28	6.5	9.7	91.9	5.3	13.9	22.2	1.8	64.5	6.7	108.0	114.3	0.94
E92-07	8/6-13	1.9	6.88	93.8	109.2	491.0	0.1	88.3	61.1	17.7	920.5	80.0	694.0	1167.7	0.59
E92-08	8/13-17	0.8	6.35	133.2	64.8	602.1	0.5	133.9	10.0	18.7	559.5	68.3	800.2	790.9	1.01
E92-09	8/17-24	21.1	5.32	14.9	9.0	50.4	4.8	13.5	40.0	3.6	67.5	8.3	74.4	137.7	0.54
E92-10	8/24-26	2.2	6.27	9.9	10.8	40.6	0.5	8.7	33.3	3.3	62.0	7.5	61.3	115.4	0.53
E92-11	8/26-27	34.7	5.76	3.7	3.4	20.2	1.7	3.5	20.6	0.8	17.5	2.5	27.3	46.5	0.59
E92-12	8/27-31	56.3		3.1	3.6	14.4		9.6	8.3	2.6	25.5	0.0	21.0	47.7	0.44
E92-13	8/31-9/3	13.2		9.9	13.6	88.5		11.7	45.0	3.6	93.5	4.2	112.0	159.7	0.70
Weighted Mean Conc.			4.88	7.4	8.1	44.1	13.2	13.0	17.0	2.4	41.5	4.4	59.7	91.5	0.65
Samples collectad at ONEB															
O92-01	8/6-14	11.9	6.16	10.7	8.4	41.7	0.7	14.4	42.8	4.9	132.0	5.8	60.7	200.5	0.30
O92-02	8/14-16	3.8	6.96	16.9	16.1	102.3	0.1	21.3	36.7	4.4	234.0	10.0	135.3	306.4	0.44
O92-03	8/16-21	29.7	6.25	6.2	4.4	22.5	0.6	6.5	23.9	1.5	107.0	5.0	33.0	144.5	0.23
O92-04	8/21-26	8.5	7.22	5.9	6.8	43.1	0.1	7.0	44.4	2.1	167.5	6.7	55.8	227.7	0.25
O92-05	8/26-28	4.0		22.8	19.4	129.2		19.1	80.6	5.9	228.5	15.8	171.3	350.0	0.49
O92-06	8/28-31	39.5		2.5	4.5	27.1		0.0	25.0	1.3	71.0	5.0	34.1	102.3	0.33
Weighted Mean Conc.			6.32	7.9	6.5	35.6	0.5	9.4	32.2	2.6	131.0	5.8	50.0	181.4	0.28
Samples collected at Pathum Thani															
P92-01	8/1-13	1.4	6.49	40.0	18.1	117.9	0.3	64.8	40.0	16.7	240.0	25.8	176.0	387.6	0.45
P92-02	8/13-18	1.6	6.32	21.4	11.5	65.4	0.5	20.9	45.6	6.2	242.5	14.2	98.3	329.7	0.30
P92-03	8/18-24	7.1	6.34	29.0	10.7	40.8	0.5	21.7	28.9	10.0	193.5	10.8	80.5	265.4	0.30
P92-04	8/24-27	29.8	6.78	3.9	2.3	10.0	0.2	4.8	8.3	1.5	59.5	3.3	16.2	77.7	0.21
Weighted Mean Conc.			6.63	10.4	4.7	21.5	0.2	10.6	14.6	3.8	97.0	5.9	36.5	132.0	0.28
Yokohama, Japan	Jun., 1990~Nov., 1991			(59 rain sample)											
Weighted Mean Conc.			4.57	39.9	23.9	51.5	27.2	26.2	34.7	2.1	12.0	7.6	115.3	109.8	1.05

[a] Total anion [b] Total cation

表 6.3 より、降水の pH は、ERTC : 4.88、ONEB : 6.32, Pathum Thani :6.63 であり、降水に顕著な酸性化は認められなかった。これは、1987 年 4～11 月にタイの各地で行われた調査とも同様の結果である[1)]。**図 6.4** より地点別にみてみると、NO_3^-, SO_4^{2-}濃度はいずれも ERTC＞ONEB＞Phathum Thani の順になっている。発生源に最も近い ONEB より郊外の ERTC において降水中の汚染物質濃度が高くなった理由としては、恒常的に吹いている南西風のためにバンコク市街地で排出された汚染物質が ERTC 付近に湿性沈着している可能性が考えられる。また、バンコクからの汚染物質の輸送経路にはあたらない Phathum Thani における降水中の化学成分濃度は 3 地点中最も低い値となった。また、降水中の Ca^{2+}が非常に高濃度であるが、これはタイの土壌が砂状であることと常に強い風が吹いていることにより、大気中に土壌粒子が巻き上げられやすく、それを起源とする炭酸カルシウムが降水中に取り込まれているためと考えられる。

また、**図 6.4** より、タイにおける降水においては、酸性成分である NO_3^-, SO_4^{2-}濃度は、日本の首都圏に位置する横浜市港北区日吉における値より低い値となっていることがわか

る。そのため現時点のタイにおいては酸性雨による大きな被害は確認されてはいない。しかしながら、現在のタイの経済発展状況、大気汚染状況および降水成分濃度の状況は、1960年代の高度経済成長時の日本と酷似しているため、将来タイにおいて、酸性雨による被害が深刻化する可能性を否定することはできない。

4. まとめ

1992年8月、タイの首都バンコクの市内およびその近郊の3地点において、デポジットゲージを用いて降水を採取しその化学成分濃度の測定を行った。その結果、バンコク近郊のERTCで採取された降水中の汚染物質が、バンコク市内のONEB値より高くなった。この理由として、バンコク市街地で排出された汚染物質が、南西風により輸送されERTC付近に湿性沈着していることが考えられる。

現時点ではバンコクにおいて降水の深刻な酸性化は認められないが、急激な経済発展により、将来酸性雨による被害が顕在化する可能性は否定できない。

また、タイにおける降水中には、土壌粒子を起源とする炭酸カルシウムや炭酸水素カルシウムが多量に溶解しており、これらは雨水の酸性化に対する中和物質として働いている。

今後は、酸性雨の実態を明らかにする為に更にタイの広範囲な地域で長期的に継続して降水を採取・分析し、データを蓄積していく必要があると言える。

5.参考文献

1)村野健太郎 ： 環境と測定技術、19、No.6,51-58(1992)

2)田中菜穂子 ： 資源環境対策、28,1065-1076(1992)

Ⅶ. 大気汚染に関する研究手法～研究対象に対してのアプローチの仕方
自動車排出ガス中の汚染質について

■1993.7～1993.7，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，短期派遣

竹永裕二

1．技術概要

自動車排出ガス中の汚染質の測定については、試験装置としてエンジン単体による測定に用いるエンジンダイナモメータ、または実車両を用いるシャシーダイナモメータにより試験を行い、排出ガスのサンプリングは直接又は全量希釈による。自動車排出ガス試験については、大きく分けて以下の２つの分野に大別される。

まず、試験装置、 試験方法に関するものである。試験装置の条件設定には自動車工学に基づき設定を行い、一定の環境下（比較換算できる条件下）で試験を行う。

次に、排出ガスの測定に関するもので、汚染物質の中でもCO、THC、NO_Xについては、自動分析計による連続測定またはバックサンプリングによる濃度測定、粒子状物質にいては、希釈風洞を用いたろ紙による重量測定法を用いる。また、その他の特定の物質については、対象物質の性状に応じてバック、ろ紙、吸収液等によりサンプリングを行い、ガスクロ、液クロ等を用いて分析を行う。

2．導入目的

先進国において自動車排出ガス中の汚染質は、度重なる排出ガス規制の強化にもかかわらず、大都市圏等における大気汚染の発生源として、大きな割合を示している。

途上国においても、急速な都市化と生活水準の向上・所得の上昇による車社会の発達により、先進国と同様な都市型大気汚染が発生している。特に、自動車排出ガス規制といった発生源への法的規制の未整備な国においては、大気環境の悪化が近年著しくその実態を把握することを求められている。

タイ国環境研究研修センター（ERTC）においは、主要研究テーマの中に、「自動車排出ガス中の物質の同定とその量的組成に関する研究」を設定しており、この中の「自動車排出ガス中の炭化水素組成研究」について技術指導の要請がなされた。

3. 導入方法

技術指導に関しては以下のことについて行った。

第一に、自動車排出ガスに関する講義

自動車排出ガスの研究するにあたり最低限必要な以下の基礎理論・技術について講義を行った。

・自動車に使用される内燃機関。

・排出ガスの生成機構・影響因子。

・燃料

・排出ガス低減システム

第二に、自動車排出ガス試験に関する技術

自動車排出ガス測定法は、日本における新型自動車の試験方法（新型自動車審査関係基準）に基づく技術基準、理論についての講義を行った。また、EPA Federal Register の自動車排出ガス試験方法についての説明を行った。

そして、実験については試験装置がないため、アイドリング時の排出ガスのサンプリングを行った。排出ガスのサンプリングにはテトラバッグを用い、直接サンプリングと予めバッグにN_2ガスを充填した後採取する希釈サンプリング（排出ガス中の水分吸着を考慮して）を行った。希釈サンプリング時には、CO・THC メーター（日本の車検時に使用する）を用いて CO ガスをトレースガスとして、排出ガスとサンプリング後のバッグ内の希釈排出ガスの CO 濃度を測定することにより希釈率を求めた。

第三に、分析方法に関する技術

排出ガス中の炭化水素について、ガスクロマトグラフを用いた分析方法の指導を行い。分析結果についての評価方法、燃料や一般環境、道路沿道での大気中の炭化水素組成との比較方法等について指導及び助言を行った。

4. 問題点と課題

まず、問題点は、試験装置がないところに技術移転を行うには無理があるのではないかということである。また、自動車排出ガスに関する試験、研究は広範囲で複合的な技術が必要なものであり、短期的に対処できるものではないと考えられる。

次に、技術移転の課題として以下のことがあげられる。

・相手国に必要とされる移転技術の選別（選択）：研究結果の実用性（政策等に反映できる

もの）の高いものからリストアップする。

・技術移転に必要な機材の選別（選択）：機器についてはランニングコスト、メンテナンス、常時稼動できるだけの産業基盤があるか等の検討が必要である。例えば、機器校正用のガス等が相手国で供給されない、もしくは入手できない場合など。

・分析機器等の操作方法、試料の分析方法：相手国において行うよりもカウンターパートを日本で研修させる方が効率的（機器を稼動させるバックグラウンドがしっかりしている）であり、必要なことは、環境の違い等により現地に合ったサンプリング方法や分析方法を行わなければならない場合の技術指導である。

5．日本の技術とその国の技術の相違

タイ国においては、全ての日本の自動車メーカーが現地生産（1993 年時点で部品自給率45%）を行っており、国内で販売されている日本車は現地生産車であった。当時、メーカーは自動車排出ガス試験を行える施設を保有（輸出車の自主検査の為）していたが、公的機関にはなかった。したがって、当時は自動車排出ガス試験に関する技術はなかったものと考えられる。

6．おわりに

環境を研究するということは、一般環境の汚染状況を把握し、発生源の特定を行い、対策（規制や低減技術の開発等）をとることにより、環境の改善を図ることが目的である。そのため、研究対象のどこにポイントを置き、どのようにアプローチしていくかが重要である。例えば、自動車排出ガスに関する研究において最も重要なことは、研究結果により一般環境に対して与えるであろう影響を導き出すことにである。したがって、汚染質の排出量を算定できるような適切な試験条件（測定モード等）の設定が研究を行うにあたり必須条件となってくる。ERTC のような途上国の研究機関に対する技術移転（協力）については、日本の研究機関によって培われた研究のノウハウを移転することを主眼にすべきである。

Ⅷ. 大気環境中の粒子状物質による汚染の測定と発生源寄与の評価

■1993.8，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，短期派遣

芳住邦雄

1.技術概要

1.1 粒子状物質の発生とその性状

1.1.1 粒子状物質の種類

大気中に浮遊している微粒子には、工場・事業場の煙突や自動車の排気管からの排煙、飛散した粉塵、光化学反応により生成した粒子、海域からの塩粒子、火山の噴煙、黄砂、そして水または氷粒子からなる雲など数多くの種類がある。これらの粒子は影響の程度は異なるが、人の健康に影響を与えるだけでなく，視程や気候などローカルな環境からグローバルな環境まで、幅広い範囲で我々の生活環境に影響を及ぼしている。

1.1.2 生成機構と発生源

(1)粒子状物質の生成

粒子状物質はその生成する過程の相違に応じて、一次粒子と二次生成粒子とに分類されている。

一次粒子は、「燃料及びその他の物質の燃焼に伴って発生する粒子」や「物の破砕、選別その他の機械的処理、または、推積に伴って発生、飛散する粒子」等が挙げられ、粒径の違いから、前者は「ばいじん」やディーゼル排気微粒子（DPE）、後者は「粉じん」などに区別されている。

二次生成粒子は、ガス状物質として大気中に放出された物質が、大気中において光化学反応や中和反応を経て粒子に変化したもので、硫酸塩（SO_4^{2-}化合物）、硝酸塩（NO_3^-化合物）、塩酸塩（Cl^-化合物）などがこれに相当する。

(2)粒子状物質の発生源

ア.一次粒子

a.人為起源

人為起源からの一次粒子は、大きくわけて固定発生源と移動発生源からの発生・排出される粒子に分類される。固定発生源には、工場のばい煙発生施設や粉じん発生施設のほか

家庭等群小発生源がある。移動発生源は、人や車、物の移動に伴って発生するもので、自動車や船舶、航空機などが代表的なものである。

b.自然起源

自然起源として重要なものには、海塩粒子と土壌粒子がある。特に、四方を海に囲まれたわが国では、海岸線に沿って都市が発達していることから、季節特有の風系により飛散する海塩粒子の影響を多分に受けている。

イ.二次生成粒子

二次生成粒子は、人為起源、自然起源などの種類に依らずガス状物質が前駆物質であり、いずれの由来においても硫黄化合物、窒素化合物、塩素化合物、炭化水素化合物が主要な物質となっている。すなわち、以下に述べるガス状物質から大気環境中で粒子状物質に変換される。

a.硫黄酸化物

人為起源から大部分がSO_2として大気中に放出される。わが国全体としては、自然起源(火山や地熱地帯、温泉から)の寄与割合は少ない。人為起源によるSO_2の発生は、ばい煙発生施設やディーゼル(軽油)機関などの硫黄を含有する化石燃料の燃焼に伴う排ガスとして排出される。

b.窒素酸化物

大気中の窒素化合物としては、NO、NO_2のほかにN_2O等が挙げられる。発生源のうち、人為起源による気体では物質の燃焼に伴って排出されるNOおよびNO_2が中心であり、工場等の生産活動、人や物の移動、日常の生活活動などのあらゆるエネルギーの燃焼過程で発生する。

c.塩化水素

大気中の塩素化合物は、冬期の粒子状物質の組成成分として多くみられるが、前駆物質としての塩素は、人為起源では塩素製造・利用施設のほか、含塩素物質を含む石炭(0.07～0.20%)や石油(0.10～4.6%)などの燃焼、及びプラスチック(ポリ塩化ビニル、ポリ塩化ビニリデン、ネオプレンなど)のように多量に塩素を含んだ物質の燃焼によって排出される。

自然起源では火山や海塩粒子以外にはほとんど存在しないが、海塩粒子の場合、硝酸ガスと反応して塩化水素となり、塩素化合物を生成する。

d.炭化水素

炭化水素は、炭素と水素により構成される化合物の総称であり、大気中で比較的安定な

メタンと光化学反応等に寄与する活性な非メタン単価水素に分類される。人為起源からの炭化水素は、塗料や有機溶剤を使用する工場のほか、石油貯蔵・出荷・給油施設、及び自動車からの排出ガスにも含有されており、多種多様な発生源から排出されている。自然起源の代表的なものでは、植物からのテルペンがある。

これら以外に、酸性陰イオンの中和成分としてアンモニア（NH_3）ガスがあげられる。土壌や排泄物からの発生のほか、大量の肥料の使用や工場や発電所における脱硝剤として利用される NH_3 の排出が考えられている。

1.1.3 粒子の粒径

粒子状物質の性状のうち物理的な特徴は、粒子の発生機構や生成過程と密接な関係があり、粒子の大きさ（粒径）、形状、密度などによって決まる。

一次粒子のうち、物の破砕や研磨によって生じる「粉じん」や「海塩粒子」などの粒径の大きい粒子は、通常の状態ではこれ以上に粒径が小さくなることはなく、2～10μm 程度を中心に分布していることから「粗大粒子」とよばれている。これらは一般的には、風などの自然界影響を受けて発生する場合も多いが、都市域では自動車の走行巻上げ粉じん、粉じん発生施設などの人為起源によるものがある。一方、燃焼に伴い排出される炭素成分や金属成分、及び大気中での化学反応により生成する硫酸塩、硝酸塩などの二次生成粒子は、その粒子径が 2μm以下であることから「微小粒子」と呼ばれている。これらの微小粒子は、人為起源によるものが多い。

1.1.4 粒子状物質の挙動

都市の環境大気中における粒子状物質の構成は、一次粒子として寄与する物質のみならず、ガス状物質として排出され、大気中で物理的・化学的作用を受けて二次生成粒子となるものを含む。これらは、最終的には沈着等によって大気中から除去される。

粒子状物質に関わる生成・消滅機構には(1)発生（一次粒子）、(2)輸送（移流、拡散）、(3)粒子形成（二次生成粒子）、(4)変質（蒸発、凝縮、化学反応、凝集）、(5)除去（沈降、乾性沈着）などがある。

1.1.5 浮遊粒子状物質の環境基準

大気中に浮遊する粒子状物質で粒径の小さいものは、沈降速度が小さく、大気中に比較的長時間滞留する。さらに、そのうち粒径 10μm以下のものは気道または肺胞にまで運ば

れ、沈着して呼吸器に影響を及ぼすことから、これを浮遊粒子状物質と呼称し、昭和47年1月に環境基準が設定されている。環境基準は**表8.1**のとおりである。

タイ国おける環境基準およびその達成率は**表8.2**に示すとおりである。

表8.1 環境基準とその評価方法

「1時間値の1日平均値が0.10mg/m³以下でありかつ1時間値が0.20mg/m³以下であること」
<長期的評価>
1時間値の1日平均値についての年間データのうち高い方から2%を除外した値が0.10mg/m³を超えず、年間を通じて1日平均値が2日連続して0.10mg/m³を超えないこと。
<短期的評価>
1日平均がすべて有効測定日で0.10mg/m³以下であり、かつ、1時間値が0.20mg/m³以下であること。

表8.2 タイ国の環境基準及び達成状況

汚染物質	評価時間	基準値	道路端*	住居地域*
CO	1hour	50mg/m³	0/18	0/4
	8hour	20mg/m³	2/18	0/4
NO_2	1hour	0.32mg/m³	−	−
SO_2	1hour	0.78mg/m³	−	−
	24hour	0.30mg/m³	−	−
	1year	0.1mg/m³	−	−
TSP	24hour	0.33mg/m³	12/15	2/4
	1year	0.10mg/m³	−	3/4
PM-10	24year	0.12mg/m³	2/2	−
	1year	0.05mg/m³	−	−
O_3	1hour	0.20mg/m³	−	−
Lead	24hour	10ug/m³	0/15	0/4

＊1994年における測定局あたりの環境基準達成局数

1.2 SPM汚染の特性

(1)月別平均濃度の変化

NOx 等地上付近の発生源影響を強く受ける物質の月別平均濃度変化は、11～12月に高濃度になる一山形のパターンを示すことが知られているが，SPMは、**図8.1**に例を示すように、

6～8月にかけて夏期及び11～12月の冬期に高濃度となる二山型の月変化パターンを示す。

夏期のピークは、光化学反応に伴う二次生成粒子の影響が大きいことが推察される。

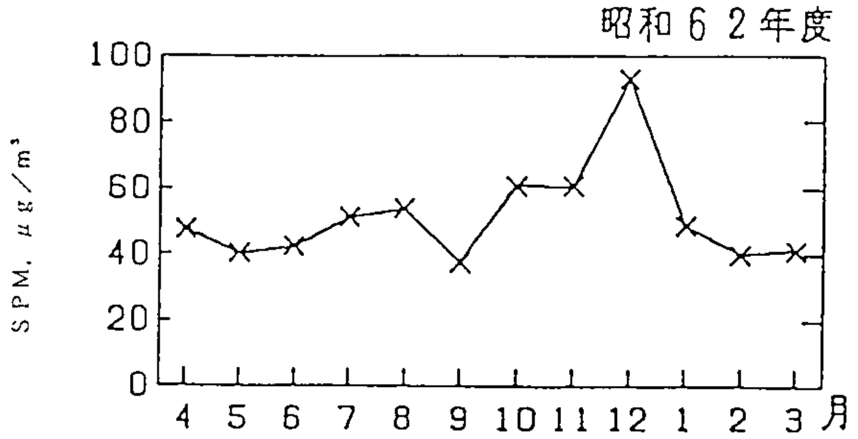


図 8.1 東京都小金井測定局における浮遊粒子状物質の月別平均値の推移

(2)SPMと気象の関係

ア.風速階級別濃度変化

風速の階級（ランク）別濃度変化をみると、**図8.2**に示すように0xを除くSPM, NO_X、SO_2及びNMHCでは、概ね風速が強くなると環境濃度が低くなっている。

これは、物質の移流と拡散現象を考えた場合、大気中の物質が風によって希釈される効果を示していると言える。SPMの拡散現象の取扱いに関してもこれらのガス状物質と基本的には類似していることを示すものである。

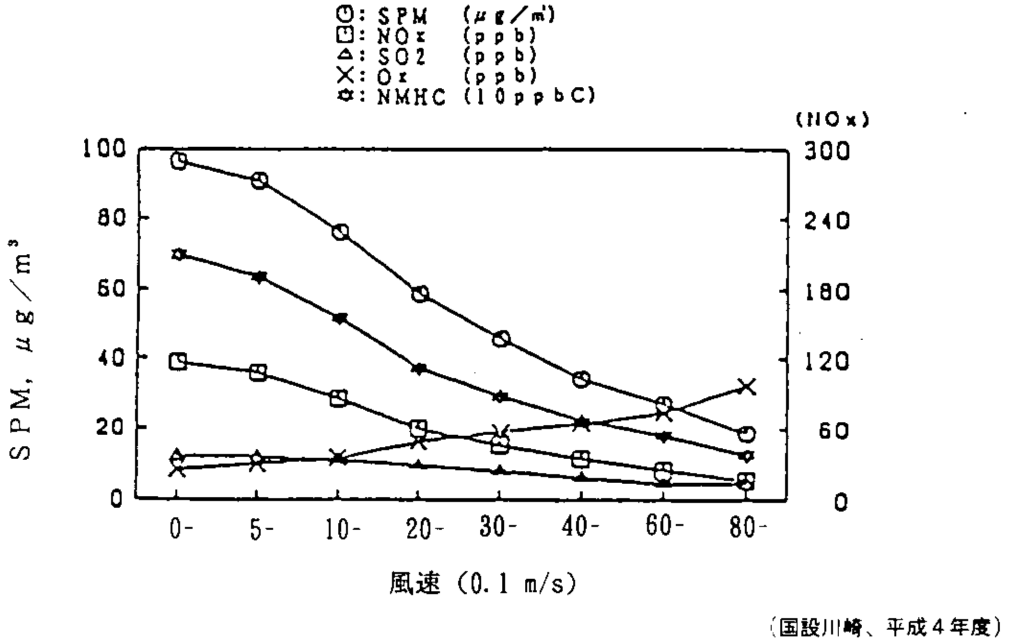
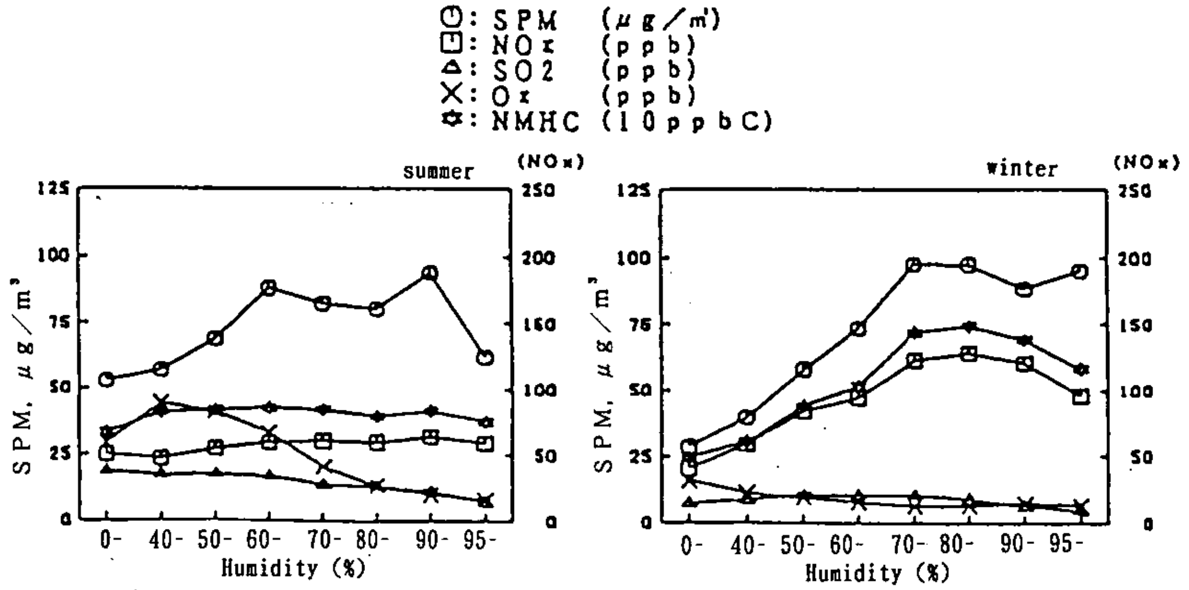


図8.2 風速と環境濃度の関係

イ.湿度と環境濃度の関係

SPM、NO_X、SO_2, O_X, NHMC の各汚染物質濃度と相対湿度の関係を表したものを図 8.3 に示す。図中では、横軸に相対湿度（%）、縦軸にそれぞれの期間平均濃度が表されている。年間を通してみると、その影響の程度は夏期よりも冬期の方が顕著である。

湿度による SPM 濃度の上昇が NO_X 等の他の汚染物質と比較して冬期に際立って大きくなる現象が確認できることから、高気圧の通過後、低気圧（気圧の谷）の接近に伴い相対湿度が上昇してくるような状況下において高濃度が現れることが推測される。



（国設川崎、平成4年度）

図 8.3 湿度と環境濃度の関係

2.導入目的

環境大気中に存在する粒子状物質は、健康障害、視程低下あるいは雨水酸性化の要因となり、人間環境の保全に対して看過しえない影響を与えることが従来より指摘されている。わが国においても、その環境基準達成率がきわめて低いことと相まって、近時、大気汚染対策上の重要な課題として注目を集めつつある。しかるに、その生成および排出の形態は、固定および移動発生源からの一次汚染物質が主要なものとは限らず、自然起源および二次生成を含め多岐にわたっており、ガス状物質と異なり取扱いが容易でない対象という特徴を有している。こうした粒子状物質による大気汚染対策を確立することは、途上国にとって極めて重要な課題と言える。

3.導入方法

3.1 測定方法の習熟

粒子状物質に対する対策を確立するためには、まず第1に、環境汚染の現状を把握する必要がある。その為には、以下述べる測定方法に関して当該国の担当職員が測定原理の理解とともに、測定機器の取扱いに習熟する必要がある。

3.1.1 多段形分粒装置

多段形分粒装置は、薄い平行板をわずかな間隙で何枚も重ねあわせ、この板が水平になるようにしたもので、被験空気を流すと、このわずかな間隙を通り抜ける間に、大きな粒子は平行板の上に沈降し、小さな粒子のみが通過する原理を応用している。

多段形分粒装置の粒子透過率P(D)は次の理論式で説明される。

$$P = 1 - \frac{D^2}{Do^2} \quad (D \leq Do において)$$

$$P = 0 \quad (D > Do において)$$

$$Do = \left(\frac{18\eta F}{\rho gLWN} \right)^{1/2} \times 10^4$$

P ：粒子の透過率

D ：粒子の相対沈降径（μm）

Do：透過率が0となる最小の相対沈降径（μm）

η ：空気の粘度係数（1.82×10^{-4}g/cm·sec）

F ：流量(ml/sec)

ρ ：粒子の密度（g/cm^3）

g ：重力加速度（980cm／sec^2）

L ：多段形分粒装置の平行板の長さ（cm）

W ：　　”　　の平行板の幅（cm）

N ：　　”　　の平行板の段数

図 8.4 に示した分粒装置は吸引流速によって希望の粒径を得ることができるように設計された多段形分粒装置である。Do＝10μmとすると、図 8.5 に示すような透過特性を有する構造となっている。

本装置は、わが国における環境基準を評価する際の基準方法となっている。エアロゾルの挙動を理解するためにも有用な方法であり、研修時には必須の理論および実験の項目である。図 8.5 の特性を前述の理論式から導く演習は、エアロゾル科学の基礎として好適な課題と考えられる。

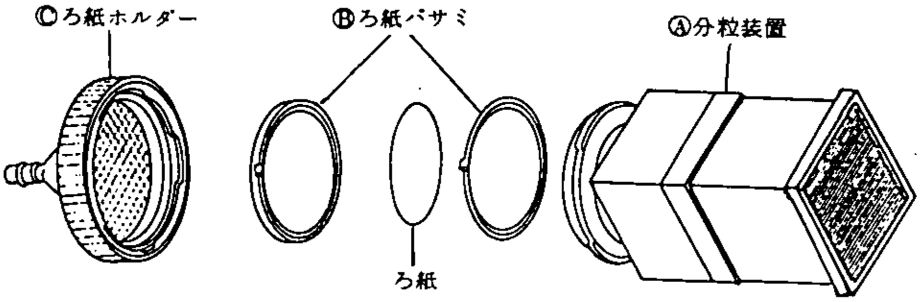


図 8.4 多段階分粒装置

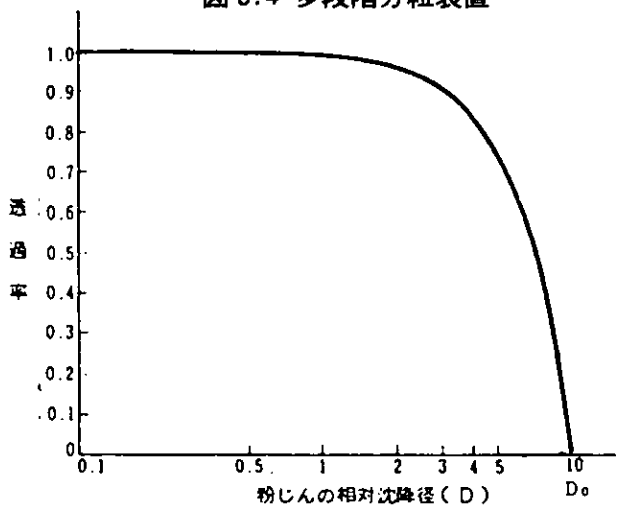


図 8.5 多段階分粒装置の透過特性

3.1.2 β線式質量濃度計

放射線の一種であるβ線は電子の流れであるために、物質を透過する際、物質内の電子と散乱・衝突をおこし吸収される。この吸収量はβ線のエネルギーが一定ならば物質の重量に比例し、粉じんの粒径・成分・色等に影響を受けない。このβ線吸収方式を利用して、ろ紙に捕集した粉じんの重量をβ線吸収量から求め、体積基準の濃度（mg/m³）として表示

させれば、粉じんの粒径・成分・色に関係なく粉じん重量を測定できる。ろ紙上に捕集した粉じんにβ線を照射すると、次式によって表わされる量の吸収が起こる。

$$I = I_0 \times \exp(-\mu m)$$

I：ろ紙及び粉じんを通過したβ線の量（Count）

I_0：ろ紙のみを通過したβ線の量（Count）

μ：質量吸収係数（cm^2/mg）

m：単位面積当たりの粉じん重量（mg/cm^2）

上式より、粉じん捕集面積を S(cm^2)、採気流量を Q(m^3)とすると平均質量濃度 C(mg/m^3)は

$$C = \frac{S}{Q\mu} \ln \frac{Io}{I}$$

で求まる。μは一般にβ線のエネルギーのみの関数であって、透過する物質の種類には無関係であるため、β線吸収量は粉じん重量に比例する。図 8.6 に装置の概要を示した。

これを自動化した市販装置では、校正用の標準フィルターが作動システムに組み込まれている。これを見落として「校正ができない。したがって、信頼性のあるデータがとれない。」と当該国の研究職員が言っていたケースがあり、充分留意する必要がある。

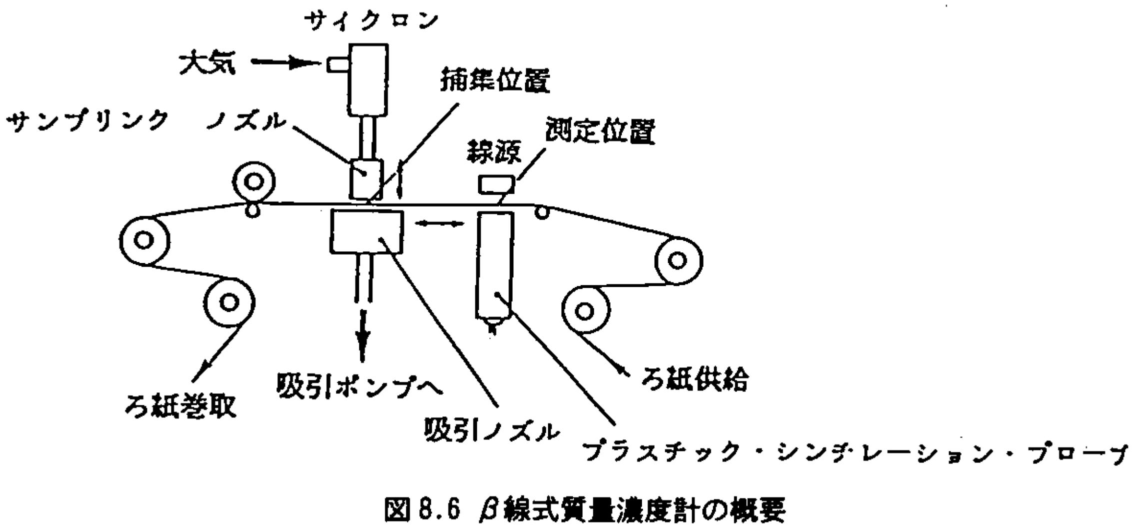


図 8.6 β線式質量濃度計の概要

3.1.3 アンダーセンサンプラー

多段多孔ジェットノズルを備えたアンダーセンサンプラーはインパクター方式により、大気環境中を浮遊するエアロゾルの粒度分布測定器である。分級器本体、流量計、ポンプより構成される。

アンダーセンサンプラーは図 8.7 に示したように、通常 8 段の耐食アルミニウム合金製のステージが積重ねられた構造を持ち、格段ステージには 800 個、400 個及び 200 個のジェットノズル（吹き出し口）が開いており、その下部にはガラス製またはフィルター用アルミ製の円板状捕集板が配置されている。

ジェットノズルの直径は下段になるに従って小さくなるので、アンダーセンサンプラーの上部試料空気取り入れ口から一定流量（1 cfm=28.3L/min）で試料空気をサンプラー中に吸引すると、各ステージのジェット気流の測定は下段になるに従って増大する。

一般的にインパクターの慣性パラメーターはエアロゾルの粒径とノズルの断面積とエアロゾルの流速の比で定義されていて、次式の関係が成立する。

$$St = \frac{C \cdot \rho \cdot Vc \cdot dp^2}{18\mu Dc} \quad ....(1)$$

ここで　C：カニンガムのスリップ補正係数（$=1.00+0.16\times10^{-4}/dp$）

dp：エアロゾルの粒径（cm）

μ：空気の粘度（1.84×10^{-4} g／cm・sec）

ρ：エアロゾルの密度（g／cm^3）

Vc：ジェットノズルを通る流速（cm／sec）

Dc：ジェットノズルの直径（cm）

St：無次元慣性パラメーター（－）

（衝突効率 50%の場合 St＝0.14）

$$dp_{50} = \frac{18\mu Dc St}{CVc\rho} \quad ....(2)$$

サンプラーの試料空気の吸引流量をQ(cm^3/min)、ステージのジェット孔の数をN個とすると、Vcは次式のように表される。

$$Vc=\frac{Q}{60\pi(Dc/2)^2N}\quad........(3)$$

(3) 式を (2) 式に代入して各ステージの 50%分離動力学的粒径 dp は次式で求められる。

$$dp_{50}=\frac{18\mu StN\pi\times Dc^3\times 60}{4CQ\rho}$$

$$=7.71\times10^{-7}\times\frac{ND_c^{\ 3}}{C}\qquad........(4)$$

但し $Q=28300cm^3/min$、$\rho=1\ g/cm^3$ とする

アンダーセンサンプラーのデータをとりまとめるに際しては、粒径分布関数として表示することが不可欠である。その場合に、アンダーセンサンプラーに取り込まれる粒径の上限を 30μm下限を 0.08μmとするのが通例である。粒径分布関数をとりまとめるために必要な数値を**表 8.3** に示した。これらの扱いは、対象国職員にとって理解が容易でないことが多い。重要なデータ処理概念であり、具体的な実験例を用いて習熟させる必要がある。

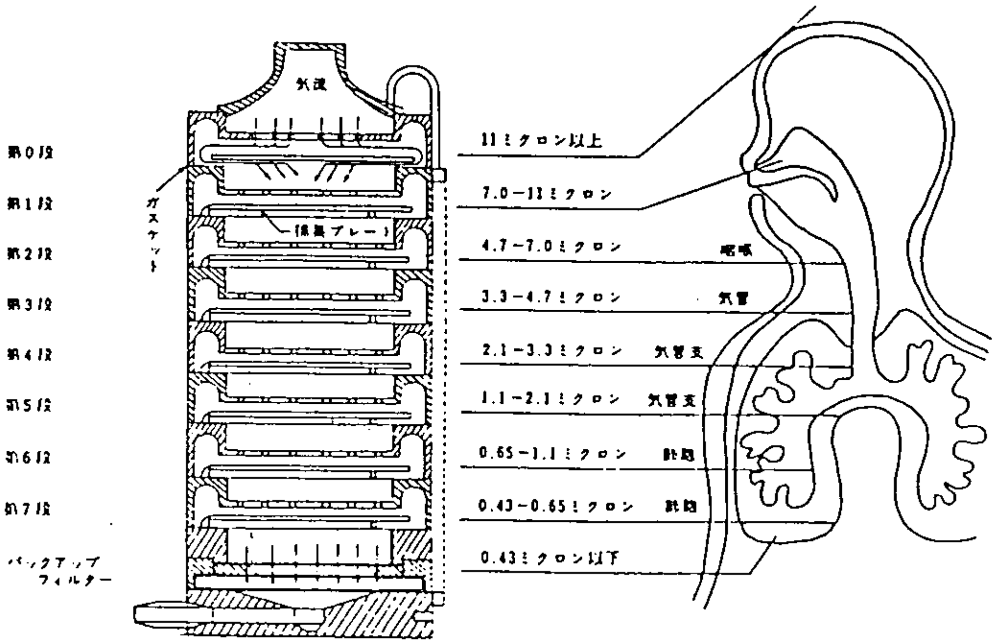


図 8.7 アンダーセンサンプラーにおける各段の分級範囲

表8.3アンダーセンサンプラーのデータ整理のための数値

ステージ番号	dp, μm	logdp	△logdp
0	30	1.477	0.436
1	11	1.041	0.196
2	7	0.845	0.173
3	4.7	0.672	0.153
4	3.3	0.519	0.197
5	2.1	0.322	0.281
6	1.1	0.0414	0.228
7	0.65	-0.187	0.180
ﾊﾞｯｸｱｯﾌﾟﾌｨﾙﾀｰ	0.43	-0.367	0.730
下限	0.08	-1.097	

3.2 発生源寄与の算定

3.2.1 基礎概念

発生源寄与を解明する手法として、大別すると図8.8に示すように拡散モデルとリセプターモデルが、現在多く用いられている。拡散モデルは、まず、排出係数と発生源に基づき地域ごとに排出総量を求め、これと気象データ、拡散パラメーター、粒子の生成、変質、除去過程などを考慮に入れて拡散計算を行い環境濃度を測定する方法である。この方法によれば、排出量と環境濃度との関係が明らかになり、排出量の将来予測値用いて環境濃度の予測も可能となる。また、その逆に環境基準を維持するためにも排出レベルを決定することもでき、いわゆる総量規制計画の立案が可能となる。しかし、粒子状物質に拡散モデルを実際に適用する場合には、路上の巻き上がりなど自然発生源の見積もり、あるいは、人為起源についても全ての発生源について精度よく把握することの困難さなど発生源データの信頼性による影響が大きい。また、二次生成粒子の変換速度の見積りも未だ充分とは言い難い現状にある。

リセプターモデルは、環境中で測定したエアロゾルの分析値に基づき、予め求めておいた代表的発生源における粒径分布、化学組成、形態および分散などの粒子特性を用いて、環境濃度に対する発生源の寄与を定量的あるいは定性的に推定する方法である。リセプターモデルのうち最も有力のものの1つがCEB法(Chemical Element Balance法、化学元素収支法) であり、Friedlander らによって始められた。この方法は CMB 法(Chemical Mass

Balance 法、化学質量収支法）とも呼ばれる。これは、環境中の粒子状物質の組成分析値と代表的発生源における化学組成とを用いて物質収支を求める方法であり、環境濃度に対する発生源の寄与を定量的に算出しうる。気象データおよび拡散パラメーターを必要とせず、単一試料を用いても解析が可能である利点を有している。しかし、寄与濃度算出は発生源種別に得られ、個別の発生源ごとの寄与を評価することは通常できない。また、将来予測は不可能であるなどの限定条件がある。

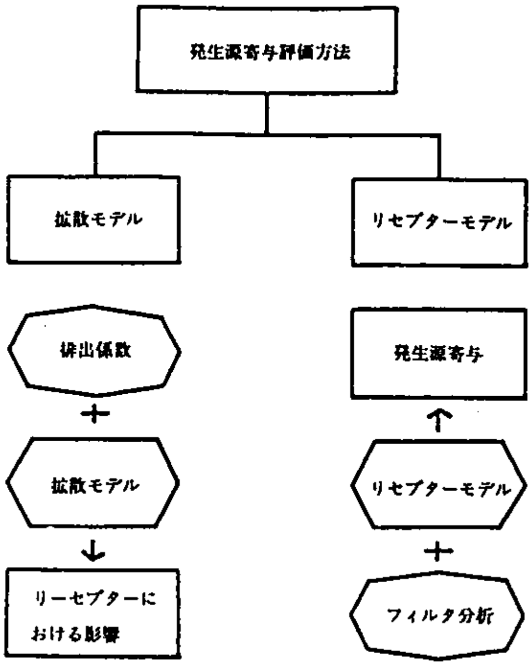


図 8.8 発生源寄与評価方法の比較

3.2.2 SPM 予測モデル

SPM に係わる予測モデルの課題として以下が挙げられる。

(1)ばい煙発生施設や未把握の固定発生源及び自動車に係わる粒子状物質排出量の推計精度の向上

(2)二次生成粒子等推計手法の確立

(3)拡散計算手法に係わる予測精度の向上

(4)自然界からの影響粒子濃度の推計

(5)定量化の困難な発生影響の類推

(6)NMHC 等炭化水素の SPM 寄与推計手法の検討

図 8.9 は、ガス状物質の拡散モデルを利用して「浮遊粒子状物質モデル」を作成する上

での、検討事項を示したものである。また、図8.10に、SPMに係わる予測モデルを作成する手順を示した。

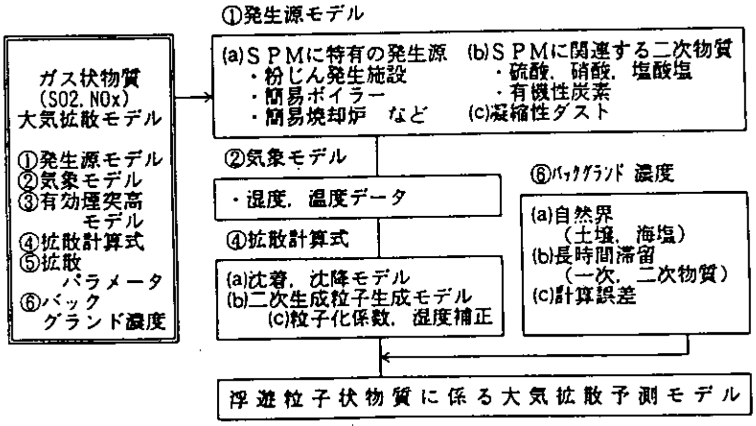


図8.9 浮遊粒子状物質予測モデルにおける検討事項

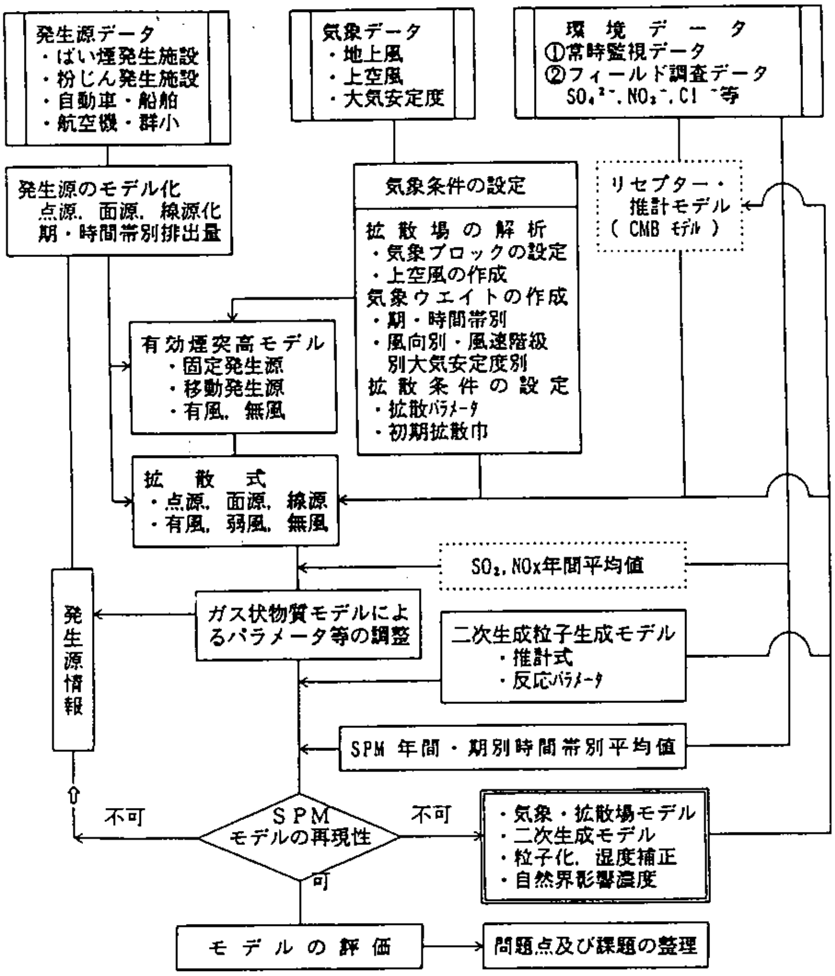


図8.10 SPM予測モデルの作成手順

3.2.3 CMB 法による発生源寄与の算出法

CMB 法では、ある化学種が発生源から排出された時点から測定点であるリセプターにおいて測定されるまでの間に粒子状物質の質量は保存されるとの仮定を用いる。すなわち、p個の発生源から排出された質量M_1、M_2、．．．、M_pの粒子が、いま、ある測定点に到達しているとすると次式が書ける。

$$m = M_1 + M_2 + ... + M_p$$

ここに、mはこの測定点におけるフィルタ上に捕集された粒子の総質量である。特定の化学種の質量m_i（i＝Al、Na、．．．）は、次式で与えられる。

$$m_i = M_{i1} + M_{i2} + ... + M_{ip}$$
$$= F_{i1}M_1 + F_{i2}M_2 + ... + F_{ip}M_p. \ ...... (2)$$

ここに、M_{ij}（j＝1、2、．．．、p）は、発生源jに由来する化学種iの質量であり、F_{ij}はその測定点で捕集された質量における発生源jに由来する化学種iの質量分率である。さらに、発生源と測定点の間において個々の化学成分の質量は保存されると仮定すると次式となる。

$$F_{i1}' = F_{i1}$$
$$F_{i2}' = F_{i2}$$
$$\vdots$$
$$F_{ij}' = F_{ij}$$

ここに、ダッシュの付されていないFijは、発生源で測定された発生源jから排出される化学種iの質量分率である。こうした仮定は、CMB 法に限らず通常拡散モデルおよびその他のリセプターモデルでも用いられているわけであるが、この仮定が成り立つかどうかは、化学種の物理的および化学的性質あるいは大気中における凝縮、蒸発、化学反応、沈降などがどの程度生じるかに依存している。

もし、測定点に影響を与える全ての発生源種別であるｐ種の発生源の排出化学組成比率が既知であり、ｐ≦ｎ（ｎは化学種の数）であれば、式(2)についてのｎ元連立方程式が得られ、それを解くことによって発生源寄与Ｍｊが求められる。

表8.4に各種発生源における元素比率の例を示した。

表8.4 各種発生源における元素比率

発生源	Ca	Na	Al	K	Mn	V	Sc	Fe	Cae	Cao	Br
グローバル 土壌	5.7	1.4	6.7	2.7	0.076	0.011	0.0012	3.6	0	0	0
東京都内土壌	2.28	0.659	8.85	0.796	0.135	0.0302	0.00291	7.48	3.94	1.63	0.0064
道路粉塵	6.9	30.42	6.83	0.97	0.135	0.019	0.0019	7.40	4.00	0.72	0.00043
海塩	1.2	1.0	$3.0*10^{-5}$	1.1	$2.8*10^{-6}$	$5.8*10^{-6}$	$1.0*10^{-7}$	$2.9*10^{-6}$	0	0	0.19
重油燃焼	0.085	1.0	0.21	0.085	0.012	0.92	$9.0*10^{-8}$	0.46	(59.1)	(7.8)	0
鉄鋼工業	4.5	1.4	1.0	1.3	2.2	0.013	$1.3*10^{-4}$	15.7	0	0	0.014
廃棄物焼却	1.1	12	0.42	20	0.033	0.0027	$4.6*10^{-6}$	0.62	6.7	1.7	0.083
ガソリン自動車	0	0	0.07	0.444	0.0113	$4.3*10^{-5}$	$2.0*10^{-5}$	0.71	30.1	26.3	5.95
ディーゼル自動車	0	0	0	0.43	0.023	0.01	0	0	65.0	20.0	0.017

4.成果、問題と課題

技術指導の対象国における環境情報は、環境濃度および発生源での排出量共に乏しいのが通例である。したがって前述の発生源寄与の評価には、困難が供われるのが、一般的である。乏しいながらも、粒子径分布および構成化学種からタイ国バンコクでの粒子状物質について議論したのが次の事例である。

<事例>

Environmental Technology, Vol. 17, pp 777-782
© Publications Division Selper Ltd., 1996

SIZE DISTRIBUTIONS AND CHEMICAL COMPOSITION OF ATMOSPHERIC AEROSOLS IN A SUBURB OF BANGKOK, THAILAND

K. YOSHIZUMI*[1], Y. ISHIBASHI[1], H. GARIVAIT[2], M. PARANAMARA[3], K. SUKSOMSANK[3] AND M. S. TABUCANON[3].

[1]Kyoritsu Women's University, 2-2-1 Hitotsubashi, Chiyoda-ku, Tokyo 101 Japan,
[2]Asian Institute of Technology, Km. 42 Paholyothin Highway, Pathumthani 12120 Thailand
[3]The Environmental Research and Training Centre, Technopolis, Tambon Klong 5, Amphoe Klong Luang, Pathumthani 12120 Thailand

(Received 15 August 1995; Accepted 14 December 1995)

ABSTRACT

A survey of atmospheric aerosols in a suburban area of Bangkok, Thailand was conducted using an Andersen sampler. Significant amounts of Na and Cl collected in the area were considered to be derived from sea salt. Difference of the Na/Cl ratio in the area to that of sea salt indicated a considerable amount of Cl loss which is assumed to be caused by the chemical reaction to form $NaNO_3$ which is the main nitrate species present. Most of the sulfate in the sample was found to be $(NH_4)_2SO_4$, in the form of fine particles which is different from the sulphate derived from sea salt and soil. Another characteristic noticed is that $CaCO_3$ seems to play an influential role in causing a cation rich trend in the aerosols which is a particular contrast to aerosols in Tokyo, Japan. This could be one of the strongest factors determining the characteristics of the atmospheric environment around Bangkok. The size distribution of K and Mg particles are also discussed in particular relation to sources.

Keywords: Aerosol, size distribution, nitrate, sulphate, calcium carbonate, Bangkok.

INTRODUCTION

Air pollutants emitted from various sources to the atmosphere can be classified as either gaseous or particulate matter. These categories are closely related to each other through gas-to-particle conversion, called condensation, and particle-to-gas conversion, called evaporation [1-8]. From the point of view of aerosol sciences, a particle is described as primary if it is emitted directly from its source to the atmosphere. On the other hand, a particle which was first emitted to the atmosphere as gaseous material and which was then converted to particulate matter through ambient chemical and physical processes is described a secondary particle [2, 5, 7, 8]. Gaseous pollutants are normally evaluated by their levels of concentration, but this is not adequate for particulates. Understanding the behaviour of particulate matter and its complex influence on human beings, animals, and plants requires analysis of size distribution, concentration and chemical components [9].

This paper focuses on the investigation of the size distributions of particulate matter in the atmosphere. The concentration and chemical components are also discussed with reference to the source contributions to the ambient aerosol.

EXPERIMENTAL

Atmospheric aerosols were collected by an Andersen sampler (Dylec Model KN-200) with an air flow rate of 28.3 l min^{-1} which was calibrated according to Dylec Corporation's manual on a roof of the Environmental Research and Training Centre, ERTC, in Pathumthani, Thailand as shown in Figure 1. The sampling site is located in a suburb about 50 km far from downtown Bangkok. No significant man-made air pollution sources surround directly it other than a highway which runs about 10 km far to the west. The sampling was conducted to obtain one set of sample during the period of 4-14 August, 1993. With reference to collecting media, Teflon filters of Toyo Polyflon 20 was used for all stages, and Toyo Polyflon 50, in turn, was used for back up.

One quarter of a whole filter was cut out, and soaked in 15 ml of high purity water for one hour to extract water soluble species. The three anions Cl^-, NO_3^- and SO_4^{-2} and five cations Na^+, NH_4^+, K^+, Ca^{+2} and Mg^{+2} were analysed by ion chromatography (Shodex IC YD-521 and I-524A). The calibration was conducted by using respective standard solutions made by Wako Chemicals for these species.

RESULTS AND DISCUSSION

Figure 2 shows the size distributions of Na, Cl and nitrate at the sampling site. They seem to be distributed in a monomodal form with a peak in the coarse particle range (> 2 μm) . Normally, it is considered that aerosols in the

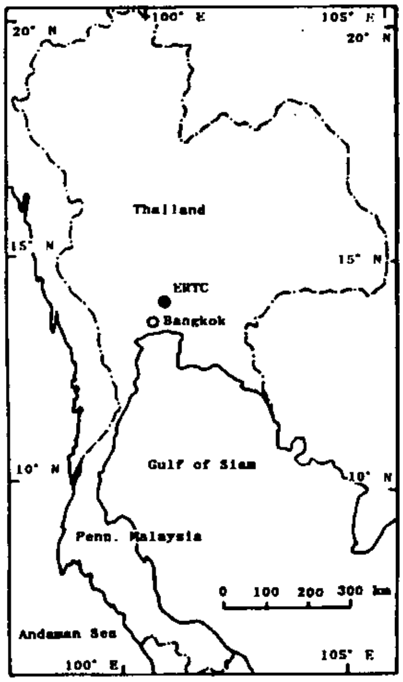


Figure 1. Map of the site, ERTC, to collect aerosols in Thailand.

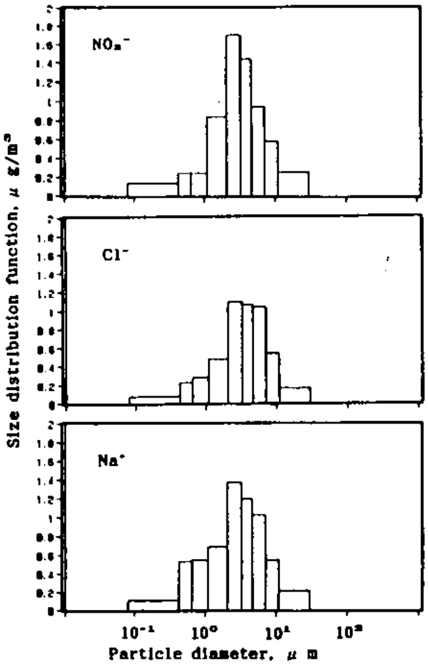


Figure 2. Size distributions of atmospheric Na^+, Cl^- and NO_3^- in Pathumthani, Thailand.

coarse particle range originate from natural sources while those in the fine particle range (≤2 μm) are derived from anthropogenic sources [10].

Sea salt contains Na and Cl in the mole ratio of about 0.89 [11]. Because of their skewness to the coarse particle range, Na and Cl in the sample were considered to be mostly of sea salt origin. The mole basis ratio of Na to Cl in the sample, however, does not coincide with that of sea salt. This discrepancy was caused by Cl loss which is thought to occur through the mechanism of a sea salt particle reacting with ambient NO_2 and/or HNO_3, to form $NaNO_3$ and releasing HCl [12]. Table 1 shows the comparison of Na, Cl and nitrate concentrations by Andersen sampler stage. The mole basis ratio of Na/(Cl +NO_3) from the 0th to 4th Andersen sampler stages were 1.11, 0.98, 1.00, 0.98, 1.03, respectively. The particles on the 0th to 4th stages fall into the coarse particle range. These values are consistently close to 1, which suggests that Cl is replaced by nitrate, as has been recognised in urban area in Japan, such as Tokyo and Nagoya [18, 20].

Nitrate can be formed as a secondary pollutant through photochemical reactions in the atmosphere [13, 14]. Nitric acid may react with ammonia to form fine particles, whereas it may react with NaCl to form coarse particles as mentioned above. Nitrate in this study dominantly falls in the coarse particle range. Therefore, it could be concluded that $NaNO_3$ was the major species in the sample, while NH_4NO_3 was present in low amounts.

This could be caused by evaporation of NH_4NO_3 due to the high temperature in the tropical climate [13, 14, 16-22]. By these findings, one can infer that photochemical reaction exists in the Pathumthani area and in the Bangkok area as a whole.

Figure 3 shows the size distributions of atmospheric sulphate and ammonium. Sulphate shows a monomodal distribution with a slight shoulder in the coarse particle range. Sulphate will be mostly formed by SO_2 gas-to-particle conversion through photochemical reactions [3-6]. Thus, the main peak falls in the fine particle range. However, the above mentioned slight shoulder could be explained if some sulphate in the coarse particle range is derived from sea salt and soil. Alternatively it may derive from the reaction of H_2SO_4 with $CaCO_3$ or sea salt.

With regard to the size distribution of ammonium as shown in Figure 3, it has a sharp monomodal distribution with the peak around 0.5 μm, similar to that of sulphate. This could imply that ammonium exists, as a counter ion to sulphate. Ammonia and sulphate will form ammonium sulphate or ammonium bisulphate.

Figure 4 shows the size distribution of Ca in the atmosphere with a strong peak in the coarse particle range. Ca concentration was found the most quantitative in concentration among water soluble species obtained in this study. Figure 5, on the other hand, shows the ionic balance between the aerosols by the Andersen sampler stage. A

notable cation rich trend was observed in the samples on 0th to 5th stages, while the ionic balance was almost kept on 6th to back up stages.

An investigation of rainwater acidity has shown that pH ranged between 5.1 to 6.3 around this sampling site and Ca concentration is high, causing the ionic balance to shift to the cation rich side [23]. By the investigation of rainwater and by the results of the survey of atmospheric aerosols, $CaCO_3$ may be inferred to exist widely in the atmosphere around the Pathumthani/Bangkok area resulting in cation rich aerosols and rainwater. Calcium carbonate is probably emitted from soil.

Under such circumstances, the cation rich condition shown in Figure 5 is assumed to be caused exclusively by $CaCO_3$. The analysis of carbonate, however, was not conducted, so that the size distribution of atmospheric carbonate in Figure 4 was obtained by calculation as the difference between anion and cation equivalences. The role of $CaCO_3$ causing a cation rich trend in aerosols in the Pathumthani/Bangkok area is particularly noticeable in comparison to aerosols in Tokyo where ionic balance is almost maintained [24].

Magnesium and K size distributions are shown in Figure 6. Magnesium is considered to be mainly

Table 1. Comparison of Na, Cl and nitrate concentrations by Andersen sampler stage.

Andersen sampler stage	50% cut off diameter (μm)	Concentration (ng m^{-3}) Na	Cl	Nitrate	Na/Cl mole ratio	Na/(Cl + Nitrate) mole ratio
0	11	95	69	108	2.13	1.11
1	7	108	106	113	1.57	0.98
2	4.7	178	180	163	1.53	1.00
3	3.3	184	163	222	1.74	0.98
4	2.1	270	214	333	1.95	1.03
5	1.1	193	134	234	2.22	1.11
6	0.65	125	65	56	2.97	2.00
7	0.43	96	40	44	3.70	2.25
Back up		83	55	99	2.33	1.15

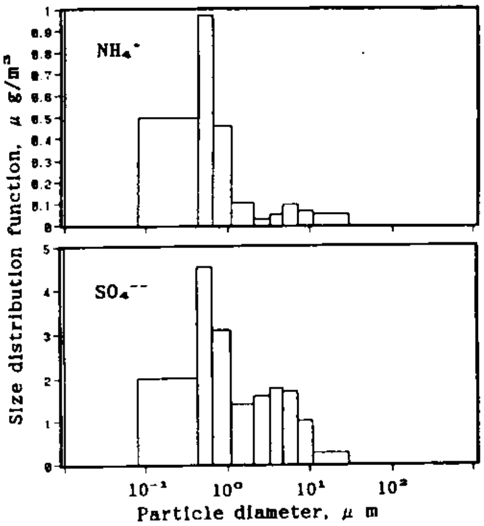


Figure 3. Size distributions of atmospheric SO_4^{--} and NH_4^+ in Pathumthani, Thailand.

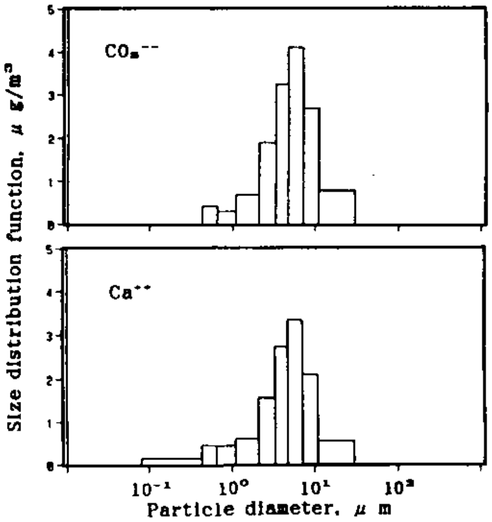


Figure 4. Size distributions of atmospheric Ca^{++} and CO_3^{--} in Pathumthani, Thailand. CO_3^{--} calculated from anion-cation difference in the ionic balance.

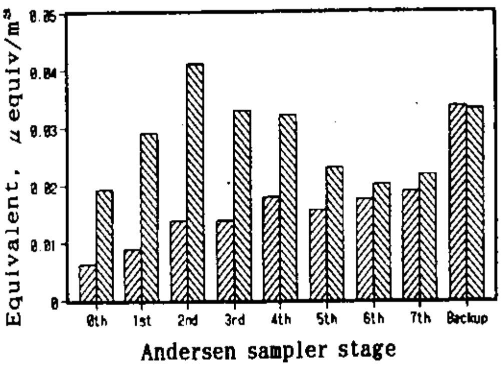


Figure 5. Comparison of total anion equivalence (left side bar) and total cation equivalence (right side bar) in aerosols by the Andersen sampler stage.

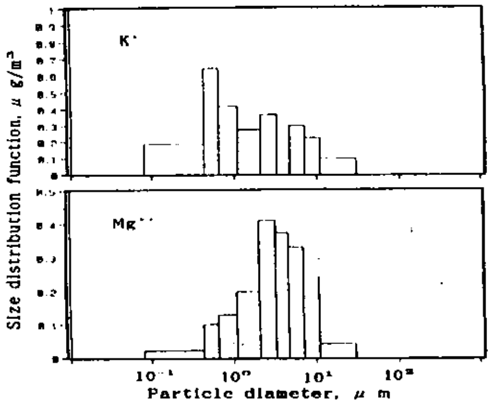


Figure 6. Size distributions of atmospheric K^+ and Mg^{++} in Pathumthani, Thailand.

derived from sea salt and soil. The distribution with a peak in the coarse particle range is similar to Na although the concentration is much lower.

Some K will be produced by the incineration of plant derivatives such as paper, wood and vegetable garbage, which would cause the fine particle aerosols. The other K will originate from sea salt, which will fall in the coarse particle range. From the two different sources producing K, two peaks are noticed in size distribution of atmospheric K in Pathumthani as shown in Figure 6.

CONCLUSIONS

Size distributions of atmospheric aerosols in a suburban area of Bangkok, Thailand were investigated using an Andersen sampler. Significant amounts of Na and Cl were considered to be derived from sea salt. Difference of the Na/Cl ratio in the area to that of sea salt indicated a considerable amount of Cl loss which is assumed to be caused by the formation of $NaNO_3$ which is the main nitrate species present. The size distribution of the ammonium has a sharp monomodal peak which is similar to that of sulphate. Most of the sulphate is considered ammonium sulphate or ammonium bisulphate. The size distribution of Ca is found with a strong peak in the coarse particle range. Calcium carbonate seems to play an influential role in causing a cation rich trend in the aerosols which is a particular contrast to aerosols in Tokyo, Japan. This could be one of the strongest factors determining the characteristics of the atmospheric environment around Bangkok. Magnesium is considered to be mainly derived from sea salt and soil. Some K will be produced by the incineration of plant derivatives. The other K will originate from sea salt. These two different sources would cause two peaks in the size distribution of K in the area.

REFERENCES

1. Cronn D. R., Charlson R. J., Knights R. L., Crittenden A. L. and Appel B. R. A survey of the molecular nature of primary and secondary components of particles in urban air by high-resolution mass spectrometry. *Atm. Env.*, **11**, 929-937 (1977).
2. Harker A. B., Richards L. W. and Clark W. E., The effect of atmospheric SO_2 photochemistry upon observed nitrate concentrations in aerosols. *Atm. Env.*, **11**, 87-91 (1977).
3. Husar R., Patterson D., Husar J. D., Gillani N. V. and Wilson W. F., Sulfur budget of a power plant plume *Atm. Env.*, **12**, 549-568 (1978).
4. Durham J. L., Overton J. H., Jr. and Aneja V. P. Influence of gaseous nitric acid on sulfate production and acidity in rain. *Atm. Env.*, **15**, 1059-1068 (1981).
5. Hering S. V. and Friedlander S. K., Origins of aerosol sulfur size distributions in the Los Angeles basin. *Atm. Env.*, **16**, 2647-2655 (1982).
6. Hobbs P. V. and Hegg D. A., Sulfate and nitrate mass distributions in the near fields of some coal-fired power plants. *Atm. Env.*, **11**, 2657-2662 (1982).
7. Harrison R. M. and Pio C. A., Size-differentiated composition of inorganic atmospheric aerosols of both marine and polluted continental origin. *Atm. Env.*, **17**, 1733-1738 (1983).

8. Endlich R. M., Nitz K. C., Brodzinsky R. and Bhumralkar C.M., A longrange air pollution transport model for eastern North America--I. Sulfur oxides, *Atm. Env.*, **18**, 2345-2353 (1984).
9. Rashid M. and Griffiths R. F., Trends of atmospheric fine and coarse particulates in Kuala Lumpur, Malaysia (1986-1990). *Env. Tech.*, **16**, 25-34 (1995).
10. Whitby K. T. , The physical characteristics of sulfur aerosols. *Atm. Env.*, **12**, 135-139 (1978).
11. Yoshizumi K. and Asakuno K., Characterization of atmospheric aerosols in Chichi of the Ogasawara (Bonin) islands. *Atm. Env.*, **20**, 151-155 (1986).
12. Robbins R. C., Cadle R. D. and Eckhardt D. L., The conversion of sodium chloride to hydrogen chloride in the atmosphere. *J.Met.*, **16**, 53-56 (1959).
13. Kadowaki S., Size distribution and chemical composition of atmospheric particulate nitrate in the Nagoya area. *Atm. Env.*, **11**, 671-675 (1977).
14. Yoshizumi K. and Hoshi A., Size distributions of ammonium nitrate and sodium nitrate in atmospheric aerosols. *Environ. Sci. Technol.*, **19**, 258-261 (1985).
15. Mamane Y. and Pueschel R. F., A method for the detection of individual nitrate particle. *Atm. Env.*, **14**, 629-639 (1979).
16. Stelson A. W., Friedlander S. K. and Seinfeld J. H., A note on the equilibrium relationship between ammonia, nitric acid and particulate ammonium nitrate. *Atm. Env.*, **13**, 369-371 (1979).
17. Stelson A. W. and Seinfeld J. H., Relative humidity and pH dependence of the vapor pressure of ammonium nitrate-nitric acid solution at 25°C . *Atm. Env.*, **16**, 993-1000 (1982).
18. Stelson A. W. and Seinfeld J. H., Relative humidity and temperature dependence of the ammonium nitrate dissociation constant. *Atm. Env.*, **16**, 2507-2514 (1982).
19. Kadowaki S., Size distribution of atmospheric total aerosols, sulfate, ammonium and nitrate particulates in the Nagoya area. *Atm. Env.*, **10**, 39-43 (1976).
20. Yoshizumi K. and Okita T. , Quantitative estimation of sodium- and ammonium-nitrate, ammonium chloride, and ammonium sulfate in ambient particulate matter. *J. Air Pollut. Control Assoc.* , **33**, 224-226 (1983).
21. Yoshizumi K., Aoki K., Matsuoka T. and Asakura S., Determination of nitrate by a flow system with a chemiluminescent NOx analyzer. *Analyt. Chem.* , **57**, 737-740 (1985).
22. Yoshizumi K. , Regional size distributions of sulfate and nitrate in the Tokyo metropolitan area in summer. *Atm. Env.*, **20**, 763-766 (1986).
23. Simachaya S., Laowakul W. , Tabucanon M. S., Sakata M. and Tanaka S., *Acidic deposition in urban area of Thailand.* Proceedings of International Conference on Regional Environment and Climate Changes in East Asia, Taipei, Taiwan, ROC (1993).
24. Akiyama K., Kamataki H. and Watanabe T. , *Characterization of atmospheric aerosols in Southern Kanto air basin.* Proceedings of 36th Annual Meeting of Japan Society of Air Pollution, Tokyo, C117 (1995).

また、こうした実験を遂行するにあたって、当該国の研究職員は、理論的背景の説明を強く求める一方で、具体的なサンプリングないしは分析操作には関わりたくない傾向がないではない。従って、指導に当たっては、十分な理論的準備を行って臨まなければならない。高度な理論的背景の下に実践の必要性を説く以外に相互の信頼性を醸成することは不可能である。わが国での通例で、「とにかくやってみろ、理屈は後だ。」では、到底対処できない。

5.日本の技術とその他の国の技術との相違

粒子状物質による汚染状態の評価は、測定方法の影響を著しく受ける。これがガス状汚染物質との大きな相違である。本著作で述べた測定方法は、ある意味でわが国特有のものと心得る必要がある。

粒径範囲の設定においても、わが国の 10μm カットと米国の 10μm カットは同一ではない。彼我の得失を述べることよりも、粒子状物質につきまとう要因と心得る必要がある。

従って、技術指導にあたっては、いかなる装置（原理ばかりでなく、具体的なメーカー名にも留意する必要がある）で、いかなる場所（位置的な高低およびシェルターの有無にも留意する必要がある)において、どのような継続時間によるものであるかを、第一に確認しなければならない。

6.関連情報一覧

1)フリードランダー：エアロゾルの科学、産業図書、

2)大喜多敏一：大気保全学、産業図書、

3)環境庁：浮遊粒子状物質汚染状況の解析・予測手法について

4)環境庁大気保全局大気規制課：浮遊粒子状物質汚染予測マニュアル、東洋館出版社

IX．HPLCを用いた大気浮遊粉じん中多環芳香族炭化水素測定手法

■1995.1～1995.3，タイ王国，タイ王国研究研修センタープロジェクト，短期派遣

雨谷敬史

1．技術概要

本技術は、大気中の浮遊粉じん（airborne particulates）をエアサンプラー（air sampler）を用いてグラスファイバーフィルター（glass fiber filter）上に採取し、その中の多環芳香族炭化水素（polycyclic aromatic hydrocarbons: PAHs）を溶媒抽出し、高速液体クロマトグラフ（high performance liquid chromatography: HPLC）を用いて分離分析するものである。

1.1 ハイボリュームエアサンプラーを用いた大気浮遊粉じんの捕集

ハイボリュームエアサンプラー（high-volume air sampler）は一分間に約 $1m^3$ の空気を吸引しうるサンプラーである。このサンプラーに、あらかじめ24時間相対湿度50%のデシケーターで恒湿化して重量を測定したグラスファイバーフィルターを装着し、一定時間大気中の浮遊粉じんを捕集した。あまり長い時間捕集しつづけると粉じん上のPAHは揮散するので注意が必要である。捕集後は直ちにアルミホイルで包み、ビニール袋に入れ、氷を入れたクーラーボックス（発泡スチロールの箱で良い）に入れて輸送し、－80度のディープフリーザー中に保存した。

1.2 アンダーセンサンプラー(air sampler, Andersen type)を用いた大気浮遊粉じんの捕集

ここではローボリュームアンダーセンサンプラー（low-volume air sampler, Andersen type）を用いた。これは、1分間に28.3Lの流速で空気を吸引し、大気浮遊粉じんを粒径別に捕集するサンプラーである。1-1と同様にフィルターを装着し、一定時間空気を吸引する。捕集後のフィルターに関しては1-1に準じる。

1.3 PAHの抽出とHPLCによる分離分析

PAHはジクロロメタンを抽出溶媒として超音波抽出（ultrasonic extraction）した。得られた抽出液はアセトニトリルに溶媒転換し、HPLCで分離分析した。検出器は分光蛍光検

出器 (spectrofluorometer)を用いた。タイ王国 ERTC の分光蛍光検出器は波長固定式なので、感度良く分析しうる PAH は以下の 8 種類であった。ベンゾ(a)アントラセン、ベンゾ(e)ピレン、ジベンゾ(a,c)アントラセン、ベンゾ(k)フルオランテン、ベンゾ(a)ピレン、ジベンゾ(a,h)アントラセン、ベンゾ(ghi)ペリレン、3-メチルコラントレン。

2. 導入目的

タイ王国は、近年産業の急速な工業化と経済発展に従って自動車の数も急増し、これらに伴う大気汚染は深刻化している。大気汚染のモニタリングに関してはすでに浮遊粒子状物質濃度、一酸化炭素および鉛濃度について行われているが、化学物質の健康影響を考えた場合、より多くの大気汚染物質についての知見が必要である。そこで大気中の主要な発ガン物質群であり、不完全燃焼により発生するため自動車をはじめとして数多い発生源が知られており、環境中に広く存在する PAH に焦点を当ててその濃度のモニタリングを行ない、測定値をもとに健康対策へとつなげていくことを目的とする。また、この技術移転の後、水中あるいは底質 (sediment) 中の PAH 濃度の測定を行ない、PAH の循環や蓄積などについても調べていく予定である。

この第一歩として、PAH の分析に関して最も高感度な方法である HPLC－分光蛍光検出法の技術移転を行ない、あわせて再現性 (repeatability and reproducibility)、添加回収率 (recovery)、標準物質を用いた正確度検定 (accuracy test using standard reference materials) などの分析の信頼性の検討を行なった。さらに、バンコク市内でハイボリュームエアサンプラーおよびローボリュームアンダーセンサンプラーを用いて大気浮遊粉じんの捕集を行ない、その中の PAH の定量を行なった。

3. 導入方法

まず、日本にいる間に現地の専門家と連絡を取り、現地にある試薬や器具の確認、装置やそのオプションについての詳細、使用状況などを聞いた。これをもとに携行機材のリストを作成し、再度現地の専門家にチェックしてもらった。今回は機材等が大幅に不足しており、予算の関係上新規購入は難しいとのことだったので、この時点で当初の計画を練り直し、受入先（この場合 ERTC）と再度協議した。さらに、派遣前にこの分野の専門の先生にお話をお伺いし、計画を立てる場合の参考とした。この事前計画は、もし現地にある機材がまったく使えなかった場合でもある程度の仕事ができるように作成することが望ましい。また、溶媒や試薬なども純度の高いものが手に入らない場合を考える必要がある。

この中でも蒸留水は純度の高いものを手に入れるのが難しい上、HPLC 分離分析においてトラブルの原因となりやすいので日本から持っていくことにした。

現地では、まず実験計画を立て、この計画に関してカウンターパートと十分に議論するところから始めた。このためには、あらかじめ英文の実験計画書を作成しておく必要がある。次に、カウンターパートと必要な試薬類や器具・装置の確認を行なった。この時、他に支障がなければ、できるだけ試薬・器具・装置類は手元に集めておいたほうがスムーズに実験が進められると思われる。これらと平行して装置の組み立て、配線、配管等を行なう。装置類は必ずしも使える状態ではない上に、その他の壊れてしまった器具、装置類の修理を必ず頼まれるので、装置のメンテナンスに関してある程度しらべておくか、マニュアル等を用意しておくとよい。今回は、HPLC の組み立て以外にも、容量の狂ってしまったマイクロピペットの修理とその検定などを頼まれた。しかし、信頼関係を築くには良い機会と思われる。通常はここまでで一週間以上かかる。とくに修理品が多い場合はより長い期間かかるので、実験計画はかなり余裕を見て立案するべきである。

今回の目標の一つである HPLC を用いた PAH の分離分析法に関しては、EPA 法とか JIS 法にとらわれずに、科学的に正確で精度の良い手法とするために、以下のような検討を行なった。すなわち、標準試料を用いた HPLC 分離分析の再現性 (repeatability) や実試料を用いた分析の再現性 (reproducibility) や添加回収率、米国 NBS 製の標準物質を用いた正確度の検定を行ない信頼性の高い手法とするとともに、これらの分析の信頼性を自分達の手で常時確認・点検しうるようにした。この考え方はそのまま品質保証、品質管理 (Quality Assurance & Quality Control: QAQC) にもつながって行くため、とくに長い時間かけて議論した。このため質問が夜半までつづくことがあり、週に 2 回ぐらいのペースで ERTC の研修生用ドミトリーに宿泊することとなった。

検量線の作成等はコンピューターを用いたため、コンピュータの使用法に関する教育も行なった。なお、ERTC ではマッキントッシュとウインドウズの両方が使われているため、どちらでも使える Excel などのソフトウェアを用いるとよいと思われる。また、このような研究所においては、今後ますますパーソナルコンピュータの重要性は増してくると考えられるので、ハードウェアの導入・更新とそれに関わる技術移転にも力を入れることが望まれる。特に、近年のパソコンの進歩は激しいため、ほんの数年のうちに例えば MS-DOS から Windows 3.1, Windows 95, Windows98 とどんどん移り変わっており、すぐに“時代遅れの技術”となってしまうことが予想されるので、気をつける必要がある。

大気浮遊粉塵の捕集に関しては、研究所で捕集法の説明をした後、バンコク市内で実際

に捕集を行なった。ERTC はバンコク市内に測定局 (monitoring station) を持っていないため、他の部局と掛け合ってサンプリング場所の確保や電源の供給などをお願いした。このため、計画を立ててから実際にサンプリングできるまで急いでも 1 ヶ月以上かかる。滞在日数が少ない場合や派遣されてすぐサンプリングが必要となる場合は、このことを計算に入れることが望まれる。また、PCD (Pollution Control Department) の測定局を使用したい場合はさらに時間がかかるため、2 - 3 ヶ月前に交渉しておくことが必要となるようである。

派遣期間の終了前には、報告書あるいは論文の書き方について説明を行なった。実はこの項目に関しては時間をかけてじっくり対応したかったが、派遣期間が 2 ヶ月と短かい上にするべきことが多く、あまり時間をかけられなかった。しかし、今後の ERTC の活動を考えた場合、重要な項目であることは論を待たない。

4.成果、問題と課題

ERTC のカウンターパートはみな大学卒業程度の知識を持ち、英語に関しても十分な実力を持っているので、技術移転そのものに関してはほとんど何の問題もなく行われた。また、技術移転終了後、ERTC では数多くのサンプルが本法を用いて分析されており、十分な効果が上がったものと推察される。問題点や技術移転全般に関する課題は、以下の通りである。

(1)まず、 ERTC 所長には、技術移転の内容や成果をはじめ自分のスケジュールにいたるまで、 直接所長に話さない限りまったく伝わらないので、その点注意が必要である。しかし、カウンターパート側は、自分の頭越しに所長と直接接触することをあまり快く思わないようなので更に細心の注意が必要である。また、仕事の実績を上げるだけでは評価されないので、仕事の成果はたえず所長や課長、カウンターパートに披露する (presentation) ことが必要と思われる。特にこの点は、自分も含めて多くの日本人にとって不得意な点なので第一に挙げる。

(2) “技術移転” に関しては、単に “技術” を移転するのではなく、研究全般に関するバックアップが必要と考えられる。特に研究計画の立案および研究の取りまとめ方法にまで責任を持ち、そのための時間を十分に取っておくことが望まれる。さらに、例えば分析技術に関して言えば、可能な限り、EPA 法や JIS 法などの既存の方法を盲信することなく、その地域の特色にあった信頼性の高い分析法を移転すること、その信頼性を自分達で検討することができるようにすることが重要と思われる。今回の技術移転に際しても、

タイ王国では気温が高いため、サンプルからPAHが捕集中あるいは捕集後に揮散してしまうのではないかという恐れがあり、今後の検討課題として残ってしまった。

(3)機材に関しては、数年前に納入されたものであり、特にインターフェースの部分（データ処理装置等）では、どうしても“旧式の技術”を教えることとなってしまった。今回はこのデータ処理装置の使用法を知っていたので対応できたが、ERTCのスタッフが日本などに来たときに、新しいインターフェース（楽な方法）を見てしまうと誤解を招く元になるので、十分説明しておく方が良いと思われる。

(4)HPLCを長く使用しているとそのうち圧力がかなり高くなってくる。これは主にプレカラムのプレフィルターに赤い砂のようなものが詰まることに起因する。この洗浄法は何度も紙に書いて教えたが、すぐに忘れてしまうようである。このようなことはテクニシャンに教えるべきことなのかもしれない。

(5)ERTCから、科学雑誌（scientific journal）に投稿する論文が出てくるような協力法を今後考えていかなければならないであろう。しかし、その場合、こちらで全部書いてしまったのでは、ERTC側には喜ばれるが、肝心のERTCスタッフを育てることにならず、ERTC側に全部書かせようとすると時間がかかりすぎて実用的ではなく、歓迎されない恐れさえ出てくる。その辺に注意して論文作成の態勢に入っていくのが今後の課題である。

このほか、プロジェクトとして、機材の老朽化や修理態勢、ディープフリーザーなど基本的な設備の不足、パソコンの不足、ネットワークへの参加の促進などハード面でのいろいろな問題点、目標設定に関する見解の不統一などソフト面での問題点をいろいろ考えさせられることも多かった。

5. 日本の技術とその他の国の技術との相違

米国EPAのMethod To-13では、大気浮遊粉じんからのPAHの抽出にソックスレー抽出を用いており、この抽出液をK-D濃縮装置で濃縮し、固層抽出によってクリーンアップしてからHPLCによる分離分析を行なっている。しかし、この方法は時間がかかる上に非常に手間もかかり、汚染や損失を起こしやすい手法である。今回技術移転したのはこれらの欠点を克服した簡便な方法で、抽出効率や再現性にも優れており、そういった意味でタイ側には受け入れやすかったと思われる。

また、大気浮遊粉塵中PAHの測定にはGC/MSなども用いられ、化合物の定性の確実性を考えるとGC/MSを用いた手法が優れている。しかし感度が低いため、ローボリュームアンダーセンエアサンプラーや個人サンプラーを用いて捕集した大気浮遊粉じん中のPAHの測

定という目的を考えると、HPLC 法に及ばないと考えられる。また、ERTC の活動計画にあげられている、濃度の低い、水中や底質中の PAH の測定に応用することを考えても、HPLC 法が優れていると考えられる。

6. 当該技術に関する関係情報源情報一覧

1) H.Matsushita, Y. Takahashi, S. Azuma, H. Hiroi and T. Amagai: Development of highly sensitive automatic analysis for polynuclear aromatic hydrocarbons in airborne particulates and its application to the survey of indoor pollution. Indoor Air Quality in Asia (G. B. Leslie, K. J. Leslie, J. Huang, Y. Qin), pp236-243, Indoor Air International, International Association for Indoor Air Quality, Rothenfluh Switzerland (1994).

2) Lloyd R. Snyder, Joseph L. Glajch and Joseph J. Kirkland: Practical HPLC Method Development. John Wiley & Sons, Inc, 1988. (訳本：高速液体クロマトグラフィーの実際、高橋昭、荒木峻訳、東京化学同人。)

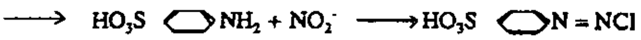
3) US EPA Method To-13, "The determination of Benzo[a]pyrene (BaP) and other polynuclear aromatic hydrocarbons (PAH's) in ambient air using gas chromatographic (GC) and high performance liquid chromatographic (HPLC) analysis". 1988.

Procedure for measurement of ambient NO_2 concentration by the Saltzman's method

Principle

This method is originally developed by B.E. Saltzman (1954, Anal. Chem., 36, 610) and modified several times, especially about conversion ratio of NO_2 gas to nitrite ion. Now conversion ratio (Saltzman Factor) is experimentally determined as 0.84. Namely, 1 mol NO_2 produces 0.84 mol NO_2^- ion in a Saltzman solution. The absorbing solution includes sulfanilic acid (p-amino benzenesulfonic acid) and N-(1-naphtyl) ethylenediamine in 5 % acetic acid solution.

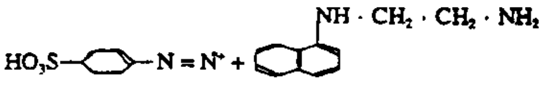
The NO_2 in a sample air collected in a Saltzman solution reacts with sulfanilic acid and produces diazonium compound (diazotation reaction).



Sulfanilic acid — Benzensulfonic acid diazonuim salt

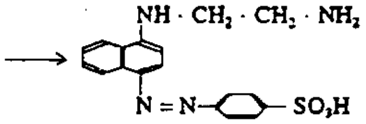
Diazotation Reaction

Followed the above reaction, the compound reacts with N-(1-naphtyl)ethylenediamine (NEDA) and produces an azo dye which is stable red color (coupling reaction). This colored solution is measured by spectrophotometry.



NEDA

Coupling Reaction



Azo compound

Reagent

1. Absorbing solution (durable 3 months)

Sulfanilic acid (SA)	5.0 g
N-(1-Naphtyl) ethylenediamine dihydrochloride (NEDA)	0.05 g
Acetic Acid	50 ml
Distilled water	950 ml

SA and NEDA are dissolved completely in 950 ml distilled water using a glass stick, then add 50 mℓ acetic acid. This solution is transferred to a 1 l brown bottle and stored in a fridge.

2. NO_2 standard solution (durable 1 day)

Dry $NaNO_2$ at 110 ℃ for three hours, then keep in a silicagel desiccator for one night. Weigh 0.25 g and dissolved in 1 l of distilled water (original solution).
Take 1 ml of original solution in a 100 ml volumetric flask and fill distilled water until the line. This final solution (standard solution) 1 ml equivalents to 1.0 μl NO_2 gas (0 ℃, 760 mmHg)

NO_2 concentration in original solution is calculated as follows.

$$\frac{0.25\ g}{69\ g} \times 22.4\ \ell \times \frac{1}{1000\ m\ell} \times \frac{1}{0.84} = 1 \times 10^{-4}\ \ell/m\ell$$

The standard solution must be prepared just before use, however, the original solution can be stored in a refrigerator for one week.

Analytical Line

Take 1, 2, 3, 4, 5 ml of the standard solution in 20 ml of graduated test tubes each, then, add 9, 8, 7, 6, 5 ml of absorbing solution and leave 20 minutes at room temperature. Then transfer to photo-cell tubes for the spectrophotometer and measure the absorbance at wave length 540 nm.
Each absorbance is ploted on a normal scale section paper with the vertical axis for absorbance and the horizontal for amount of NO_2.
In case the points are deviate from the regression line, this work should be repeated.

Procedure for measuring absorbance

A simple type of spectrophotometer is shown in Fig.1.

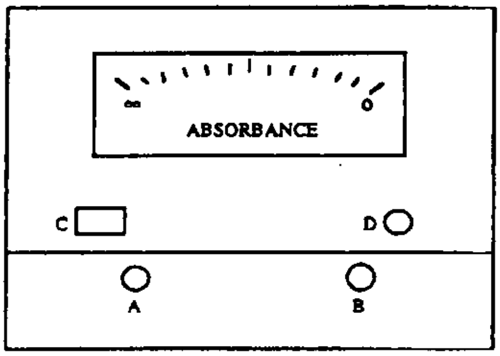
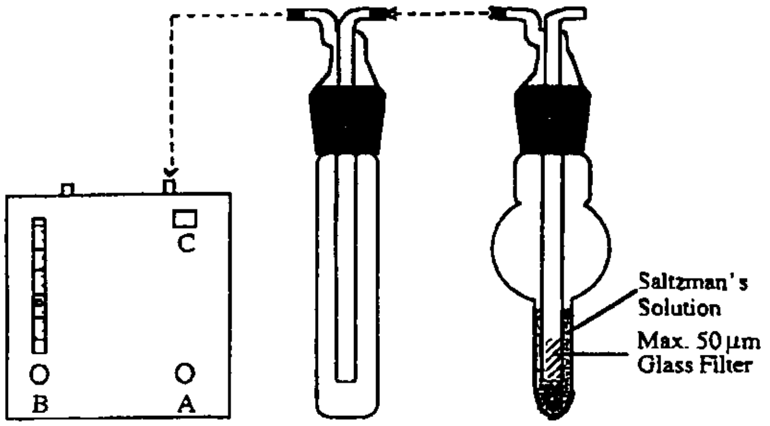


Fig.1. A simple type of Spectrophotometer

Turn the dial B clockwise to power on state
Turn the dial D and adjust wave length at 540 nm.
Turn the dial A and adjust indicator to ∞ then open lid C and insert a blank tube with absorbing solution and adjust the indicator to 0 using dial B. Repeat above procedure several times and confirm the stability. Measure the absorbance of sample solutions. (Notice: Absorbance are written in red figures).

Procedure of sampling

Ten mℓ of absorbing solution is taken in an absorbing tube (brown color) and connect with an empty impinger and a handy air sampler as shown in Fig.2.
Push the poewr switch A and adjust the flow rate 0.3 ℓ/min by the regulator B.



A : Power switch
B : Flow rate regulator
C : Power lamp

Fig.2. Schematic diagram of the apparatus for measuring NO_2 by Saltzman's method

Calculation

$$C_{NO_2}\ (\text{ppm}) = \frac{A}{As} \times \frac{1}{v}$$

C_{NO_2} (ppm)	:	NO_2 concentration (ppm)
A	:	Absorbance of a sample in 10 mℓ solution
As	:	Absorbance of standard solution contains 1 μℓ (NTP) of NO_2 in 10 mℓ of solution (nearly 0.19)
v	:	Volume of sampled gas (l, 0 ℃, 1 atm)

【中国における大気保全技術移転事例】

X. 中国で経験した技術移転

■1994.2～1994.3, 中国, 日中友好環境保全センター, 短期派遣

朝来野国彦

1. はじめに

1994年2～3月に、中日友好環境センターに短期専門家として派遣され環境観測総站(当時) における技術指導と中国全土の関係者を対象とした「エアロゾルに関するセミナー」の基調講演を行った。また、1994年まで在職した東京都環境科学研究所において中国、タイ、インドネシア等からの研修生受入れ責任者を担当した。これらの経験を通して得た、開発途上国への技術移転に際して気付いた点を述べてみたい。

2. 中国での経験

2.1 技術移転の内容

中日友好環境保全センター（以下センター）建設中の1994年2～3月に14日間訪中し、最初の1週間はセンターに組み込まれる予定の環境観測総站において大気汚染に関連する総括的な講義を行い、次週は「エアロゾルに関するセミナー」を北京市で行った。

環境観測総站は、標準物質の生成、機器管理の国家的基準の作成、全国の環境監視データの集積・解析等、環境監視に関する中国全土の技術的センター機能を持っている。出発前に、JICAやOECCを通して情報を収集したが、カウンターパートの質、関心を持つ事項等については、センター発足前で日本からも調整員が派遣されているだけであることや組織が異なること等から、十分な情報は得られなかった。中国は、開発途上国のなかでは特異な状況にあり、知識面で移転することは少ないことを聞いていたので、日本で経験した大気汚染防止対策、大気汚染状況の推移と現状、大気環境モニタリングの状況等をスライド（58枚）、OHP（100枚）を準備した。大気環境問題を中心に、日本の環境対策の事例について概括的な説明を行い、専門的な部分については担当者と個別に対応する方法をとった。当初、大気関係の担当者5名が参加していたが、途中から情報処理、標準物質の担当者を含めて、延べ約20名が出席した。

次週は、全国の自治体、大学から関係者を集めたセンター主催の「エアロゾル討論会」の基調講演を担当した。約80名が出席し、2日間にわたって北京市で開催された。中国側と筆者の基調講演に続いて、中国各地の粒子状物質を中心とした汚染状況、大気汚染対策が発表された。わが国のこの種の会合に比べて、女性の出席者が多くその点では先進性を

感じた。前日には、センターのスタッフと共に準備をしながら、センターへの期待や要望を聞いた。また、出席者との意見交換をパーティや休憩時間を含めて行い、地方担当者の意欲の高さと設備に対する強い要望を聞くなど、有意義な経験をした。

2.2 技術移転の具体例と課題

中国の担当者は良く勉強しており、地方自治体の職員を含めて知識は十分持っている人が多い。しかし、機器の整備が十分ではないことから実務経験が不足しており、環境対策の基本となる現場の技術担当者の技術向上が課題のようである。失敗を含めたわが国の現場での経験をありのまま伝達したことが、好感を持たれた。

具体的な一例として、中国での各都市の大気汚染モニタリングの結果から、汚染レベルを評価する場合の代表性が話題となった。わが国の現状については一応の知識は持っているが、中国の現状の参考となる1960年代の実情についてまでは把握していない。この問題は、わが国でも古くて新しい課題で、現在でも国設測定局と各自治体の測定局の測定結果を総合的した汚染状況の評価解析が十分とはいえない。わが国の大気汚染の全国規模のモニタリングは、1960年代の一酸化炭素に始まる。各自治体は、県都の最も交通量の多い幹線道路沿道に測定点を設置した。その結果、地域差が少なく、それぞれの地域の発生源の状況と整合のとれない観測結果が得られ代表性が問題になった。これらの、わが国の経験から、効率的な大気汚染対策立案の基礎資料を得るためのモニタリングのあり方について、東京都の例などを挙げて意見を交換し、帰国後関連の資料を送付した。わが国の大気モニタリングの特徴である、湿式自動測定機についての精度管理について疑問が出された。比色計や導電率計の校正である静的校正では、精度が担保される保証がないとする見解である。末端の自治体関係者まで、日本では一定レベル以上の技術力が保たれていることが、静的校正で精度が実質的に担保される要因であり、技術力の均一性が発生源対策を成功させた大きな要因になっているとを理解されるまで何度も意見を交換した。

国情の違いの納得のうえで、環境対策に必要な技術的が理解されるまで粘り強く説明した。経済的に安価な簡易測定器の活用について、測定器の種類や精度、モニタリングにおける位置付けなど数種類の実物を持参し、使用例をスライドで示しながら説明した。簡易測定器の開発担当者を始め多くの職員と、目的に応じた選択と使用方法などについて意見を交換した。

わが国の大学院で学んだ職員もいて、大学生活をとおして得られた日本の実情についての知識を披露していたが、環境対策の実情を十分把握しているとはいえない点も見受けら

れた。彼のプライドに配慮しながら、補足した場面もあった。

筆者が担当したのは、特定のカウンターパートに対する固有の技術移転ではなく、大気汚染関係の集団に対するものであったが、経験をとおして得られた総括的な感想は、専門分野にもよるが国家機関や大都市では、個々の技術移転よりもわが国の経験に基づいた共同研究スタイルの技術移転（交換）が効果的と思われる。中国は経済的には開発途上であっても、知識の点では先進国である。しかし分析や測定に関しては一部の大学や国の機関を除いて経験が浅く、環境モニタリングについても標準物質の供給や測定器の整備など、多くの課題が残っている。

わが国は、歴史的にも中国から多くのことを学んできた。永い歴史からみると、現時点ではたまたま経済的に発展途上にある国であるという基本的認識に立って、わが国の経験を基にした技術移転が一応の成果を上げられた理由と考えている。わが国は中国に関して、環境関連の技術的、経済的援助や共同研究が自治体の友好都市協力、科学研究費や財団等の基金も含めて数多く行われている。それぞれは一定の成果を挙げているが、お互いの連携は十分とはいえないのが現状ではなかろうか。環境庁が音頭を取って、より効率的な協力の検討を行うことが望まれる。

3. 研修生受入れの経験から

東京都では、JICA の他に独自で友好都市から研修生を受け入れている。ジャカルタ市から 1 年間、タイ国や中国から各々2～3 ヶ月間、複数の大気汚染担当者を受け入れた。ここでは、本稿の主題にそって中国からの研修生についての特徴に触れてみたい。個性による差はあるが、タイやインドネシアなどの東南アジア諸国からの研修生に比べて、中国の研修生は野心的な人が多い。例えば資料についても、手当たり次第という感じで貪欲に要望する。東南アジアの人々は、与えられたテーマーの範囲で一応の取組みはするが、執着心はまったくない。これに対して、中国からの研修生は価値観に合致した内容については、強い意欲で取組んでくる。この傾向は、複数の研修生について共通している。これは、中国の大学卒以上はごく少数の選ばれた人々であることも要因となっているようである。技術移転の成否は、充実したカリキュラムの整備が基本的に必要であるが、最終的には良好な人間関係が必要条件となる。これは、現地での技術移転の際にも共通している点であろう。東京都でも、担当者が研修生に招待された例があるが、誠実な人柄が研修生の琴線にふれたものである。技術移転に当たっては、最低限の語学力が必要なことは論を待たないが、最終的には相手に信頼されなければ十分な成果は期待できない。

受入れ、派遣とも自治体での経験を必要とする技術移転の課題が多い。自治体の試験研究機関は、実施官庁である自治体行政を直接サポートする立場を要求されており、組織的に余裕をもった対応が許されない場合が多い。個人的には、マルチ人間的な資質に恵まれた人が余裕を持って問題に対応している。長期派遣専門家として派遣さている自治体関係者は、海外経験の機会も少ないこともあって、海外で摩擦が起きると正面から取組みすぎて問題を大きくする傾向があると聞く。長期派遣に耐える人が、日本の組織よりも海外の方が受入れられ易いタイプに偏っては、わが国の技術を適切に移転できるとはいえまい。JICA でも各種の研修を行うなどの努力には敬意を表するが、身分保証を含む待遇問題等に対しては自治省の協力を得て改善をはかるとともに、事前研修の強化など一層の努力を期待したい。

XI. 中国の大気環境技術等の状況

■1993.9, 中国, 日中友好環境保全センター, 短期派遣

城戸伸夫

1. はじめに

中国はいま目覚ましい速度で経済発展を続けているが、かつて高度経済成長期の日本がそうであったように、中国もまた深刻な環境汚染に悩まされている。人口増加と工業化の進展に伴うエネルギー消費の増加はますます大気汚染の被害を増大させている。

特に、酸性雨は深刻な問題となっており、四川省、貴州省、広東省、広西自治区等では、森林や農作物の枯れや成長不良、文化財や鉄橋等の建築物の腐食等、酸性雨による局地的な被害が顕在化してきている。

酸性雨の主要な原因は、石炭や石油等の化石燃料の燃焼により生成するSOx・NOxであり、今後ますます増大する化石燃料の燃焼利用に対して、これらの酸性雨原因物質の排出を防止する技術開発及びその普及が、中国では急務となっている。

特に、中国は世界最大の石炭消費国であり、また国内では高硫黄分炭を使用しており、酸性雨防止にはまず脱硫技術の普及が望まれている。しかし、中国では、燃焼装置に日本型の排煙脱硫装置を付加し,SOxの排出抑制を図ることは、コスト的な制約及び維持管理の面から困難であり、簡易性、経済性、利便性に富んだ脱硫技術の開発が要望されている。

2. 中国のエネルギー事情

表11.1は中国の石炭生産量と一次エネルギーに占める石炭の割合及びSO_2排出量の経年変化を示したものである。経済発展に伴って石炭消費量は年々増加し、それにつれて、SO_2排出量も増加している。また、中国は一次エネルギーに占める石炭の依存度が極めて大きく、1994年でも約78%を占めている。近い将来、エネルギー供給構成に大きな変化はありえないことを考慮すれば、石炭の消費量はますます増加し、それに沿ってSO_2排出量も急激に増加することが予想される。

表11.2に示すように、中国の石炭は硫黄分の含有率が高いものが多く、この点はインドネシア・インドとは大いに異なる。特に表2でも明らかなように、四川・貴州・雲南・陜

西省等の南西部の石炭は硫黄分が平均値で約３％と非常に高く、これらの地域は酸性雨被害の深刻な地域でもある。

また、中国では褐炭・泥炭等の低カロリー炭（約5,000kcal/kg以下）も燃料として使用されている。このように、石炭の使用量が多く、かつ劣質な石炭の使用によって、中国は重大な大気汚染を生じている。

表11.1 中国の石炭生産量・一次エネルギーに占める石炭の割合・SO_2排出量の経年変化

	総生産量 (10^8t)	一次ｴﾈﾙｷﾞｰに占める石炭の割合（%）	SO_2排出量 (10^4t)
1985	8.72	72.8	1325
1990	10.80	74.2	1494
1991	10.84	74.1	1622
1992	11.14	74.3	1685
1993	11.51	76.8	1795
1994	12.40	77.7	1825

表11.2 中国国内地域別石炭硫黄分

地　域	(%)	地　域	(%)
1 北　京	0.76	16 河　南	1.07
2 天　津	0.86	17 湖　北	1.00
3 河　北	0.97	18 湖　南	0.88
4 山　西	0.99	19 広　東	1.09
5 内蒙古	1.45	20 広　西	2.22
6 遼　寧	0.75	21 四　川	3.19
7 吉　林	0.58	22 貴　州	2.95
8 黒龍江	0.63	23 雲　南	3.09
9 上　海	1.04	24 西　蔵	1.00
10 江　蘇	1.80	25 陝　西	2.72
11 浙　江	1.09	26 甘　粛	0.98
12 安　徽	1.03	27 青　海	0.70
13 福　建	1.26	28 寧　夏	1.95
14 江　西	1.39	29 新　疆	1.00
15 山　東	1.97		
中国全国平均			1.35

3. 中国の大気汚染状況

石炭使用量の増加に伴う大気汚染としては、燃焼によって発生するばいじん，SOx，NOx がその主なものであり、特に SOx と NOx は酸性雨の原因物質として重要である。

中国の SO_2 総排出量は**表 11.1** に示すように 1994 年度で 1825 万 t/年と推定され，石炭燃焼によって生ずる SO_2 排出量は総排出量の約 90%を占める。中国の石炭は前述したように硫黄分が高く、しかもごく一部の発電所を除き、排煙脱硫装置が皆無の状態であることから，主要 88 都市における SO_2 の年平均値は 0.086mg/m^3 で、二級環境基準値 0.02mg/m^3 をはるかに超えている。

NOx についても、中国は日本と異なり，移動発生源の寄与率が低く、ほとんど石炭燃焼によるもので，その総排出量は 450〜700 万 t/年と推定されている。

これらの SOx・NOx が大気中に放出され、雲や霧や雨水に取り込まれて酸性雨となって地表に降下する。中国全土の 77 都市の調査結果(1994)によれば、そのうち 81%の都市に酸性雨が出現している。また、**図 11.1** に示すように重慶市及び貴陽市では、降水の pH 年平均値が 4.1〜4.3 であるため、森林・農作物・文化財・建築物に損害を与えている。また、酸性雨は長江（揚子江）以南の地域に多く、pH の最小値が 4 以下の都市はすべて長江以南にある。酸性雨は夏季と冬季により pH 値に異なる所もあるが、その特徴はすべて硫酸型で頻度も比較的高い点にある。酸性雨による直接被害及び土壌酸化等の問題が今後ますます深刻になるものと懸念されている。

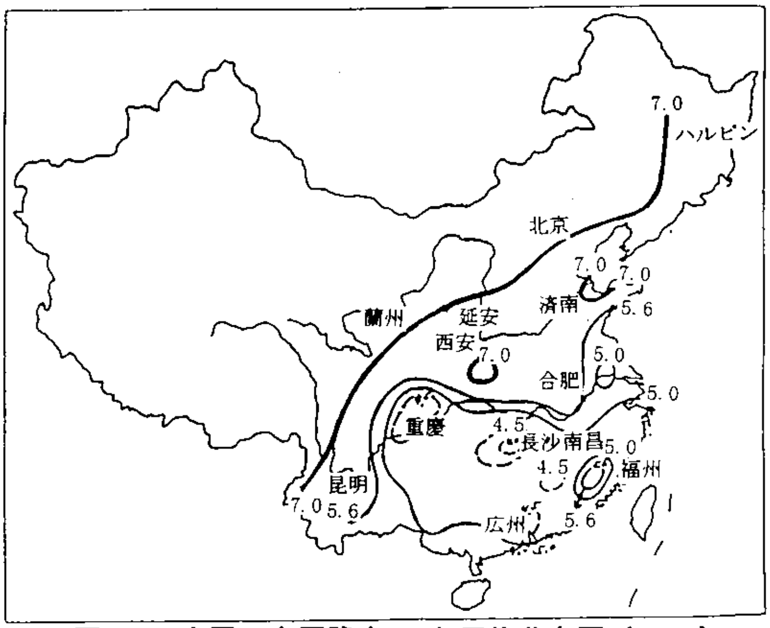


図 11.1 中国の全国降水 pH 年平均分布図（1992）

4. 中国の大気環境保全技術の状況

中国においては、日本のような排煙脱硫装置、燃焼改善による NO_X 生成抑制技術及び排煙脱硝装置の設置はごく一部の発電所を除き皆無の状態であり、集じん装置が一部設置されているに過ぎない。

中国における酸性雨を防止するには、まず脱硫技術を先行させるべきであり、その普及ができるだけ早期に達成されることが重要である。

日本型の排煙脱硫技術を中国に移転することの問題点は、

a. コストが極めて高い。

b. 中国ではストーカボイラ等の小規模の燃焼装置が数多く稼働しているが、これらに日本型の排煙脱硫技術はなじまない。

c. 設備を維持管理する技術レベルが伴っていない。

等であろう。これらの問題点に対し、以下の解決策が図られている。

a. コストの低減

脱硫率を 80%程度とし、日本型排煙脱硫装置のコストの 1/3～1/5 を目標とする。

b. 小規模装置への対応

蒸気量が 1t/h 程度までの小規模装置へ対応できる技術であること。

c. 維持、管理の容易な設備

以上の観点から、色々な方式の中国向け脱硫技術が開発され、普及されつつある。通商産業省は、エネルギー環境対策に取り組んでいる開発途上国に対し、我が国の有するエネルギー環境技術を利用して、人造り協力、研究協力、調査協力、モデル事業等により、開発途上国のエネルギー環境問題に対する自助努力の支援を行う「グリーンエイド計画」を1992 年度から実施している。

表 11.3 は、グリーンエイド計画による対中国環境国際協力のうち、脱硫関連の協力プロジェクトを示したものである。

中国向け脱硫技術としては、

a. 選炭技術の向上や脱硫剤を担持させた成形炭（コール・ブリケット）のように、燃料の改善に属するもの

b. 炉内脱硫が可能な流動層燃焼技術

c. 簡易型排煙脱硫技術

の 3 つの種類に大別される。

いずれの方式も脱硫率は60～80%とやや低いものの、プロセスの簡易化、設備のコンパクト化、建設及びランニングコストの大幅な低減化が図られており、また現地の燃料及び脱硫剤の入手事情に適した技術移転が計画されている。

表 11.3 グリーンエイド計画による中国向け簡易脱硫技術の移転

1．燃料
- a）選炭
- b）コール・クリーニング技術
- c）脱硫剤を担持させた成形炭
  - ・三井鉱山（太陽鉄工）のバイオブリケット　山東省臨沂鉱務局湯庄炭鉱
- d）脱硫型CWM設備
  - ・日揮　山東省華能発電公司　白楊河発電所

2．流動層燃焼技術
- a）循環流動層ボイラ
  - ・IHI　山東省淄博鉱務局嶺子炭鉱
  - ・フォスターウィラ・パイロパワー　山東省棗庄鉱務局柴里炭鉱
- b）内部循環流動層ボイラ
  - ・荏原製作所　北京市房山服装集団公司

3．簡易型排煙脱硫技術
- a）火力発電ボイラ用排煙脱硫装置
  - ・三菱重工業のスプレードライヤー法　山東省青島市黄島発電所4号機
  - ・日立製作所／バブコック日立の簡易型石灰石－石膏法　山東省太原市太原第一発電所12号機
- b）産業ボイラ用排煙脱硫装置
  - ・三菱重工業　山東省維坊化工廠
  - ・川崎重工業　広西壮族自治区南寧化学工業集団公司
  - ・千代田化工建設　四川省重慶長寿化工廠

5. 効果的な技術移転事例－脱硫剤を担持させた成形炭による脱硫技術の移転

5.1 技術概要

中国に数多く存在するストーカボイラでは既存の方法による SO_x の排出防止は極めて困難であり、脱硫剤を担持させた成形炭による脱硫技術がコスト面から有望である。また本技術は家庭で暖房･厨房用として使用される燃料の SO_x 対策技術としても適用可能である。グリーンエイド計画の中でも、ばいじんの発生が少なく、脱硫率も60～80%と高い成形炭製造設備を山東省臨沂に設置する計画を進めている。

これらはバイオコールと呼ばれ、石炭に木材、バガスなどの植物質(15～30%) と石炭中の硫黄分に応じた量の脱硫剤（消石灰など）を添加、混合し、高圧縮力（1～3 t/cm²）で

成形した固形燃料である。**図 11.2** にバイオコールの製造フローシートを示す。稼働中のストーカボイラ用の脱硫技術としてその普及が期待される。

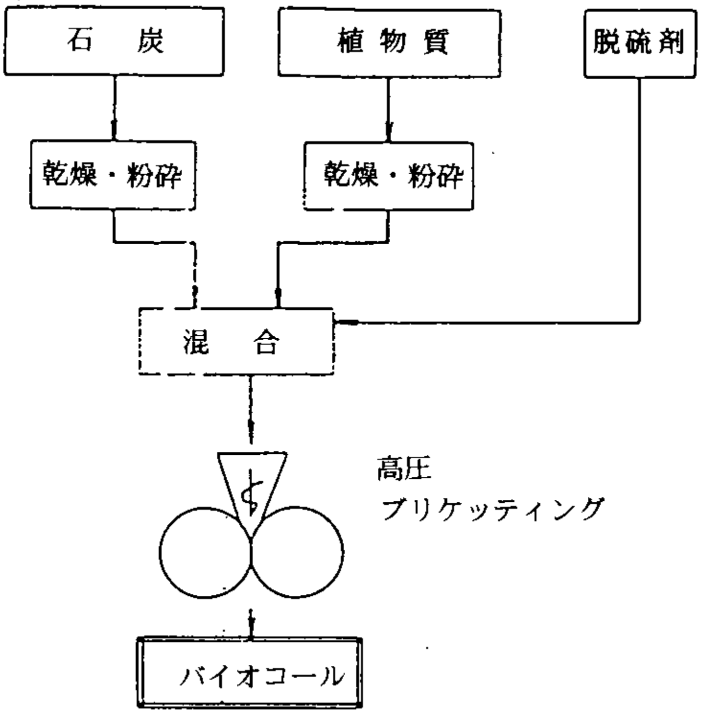


図 11.2 バイオコール製造の基本フローシート

5.2 導入目的

中国では数多くの小規模ストーカボイラが各産業で稼働している。これらのストーカボイラを漸次、高効率燃焼及び炉内脱硫が可能な循環流動層ボイラへと転換すれば、全排出量の 46%を占めているといわれる産業用燃焼施設からの SO_x 排出量はかなり低減できると思われる。しかし、稼働中のストーカボイラを循環流動層ボイラへと即座に転換できるわけではない。この稼働中のストーカボイラにおける SO_x 低減対策としては、脱硫剤を担持させた成形炭の使用が有効である。また、本技術は家庭用燃料からの SO_x 排出量の低減にも寄与できる。

5.3 導入方法

中国で稼働中のストーカボイラを対象とし、脱硫剤を担持させた成形炭による脱硫技術に関する実用化研究を中国・東北大学と共同で実施した。本研究では、瀋陽市ガラス機械工場で稼働中のストーカボイラ（蒸気発生量 2t/h）を使用し、排ガス実態調査を平成 7 年

度に、成形炭による脱硫性能実証試験を平成8年度に行った。

本ボイラの写真を**図 11.3** に示す。燃焼排ガスの測定については、SO_x・NO_x・CO 及び O_2 濃度をオンラインで計測した。これらの計測器及び標準ガス等は実験前に東北大学に送付したが、税関等の手続きに中国では長期間を要するので注意が必要である。また、研究の途中で零スパンが取れなくなったが、これらの修理は瀋陽で行うことができず、北京または日本に送って修理してもらう必要が生じた。

中国では大学といえども、これらの燃焼排ガス測定に精通している人は少ない。各計測器の測定原理や構成機器の機能等をよく知っておれば、これらの故障が生じたときに、小さな修理は自分達でできる。これらの知識をカウンターパートに十分に修得してもらう研修等が必要であることを大いに感じた。また、脱硫性能実証試験用の成形炭については、**表 11.4** に示す製造条件で 10 トンを日本で製造し、大連港を経由して瀋陽市ガラス機械工場に送付した。

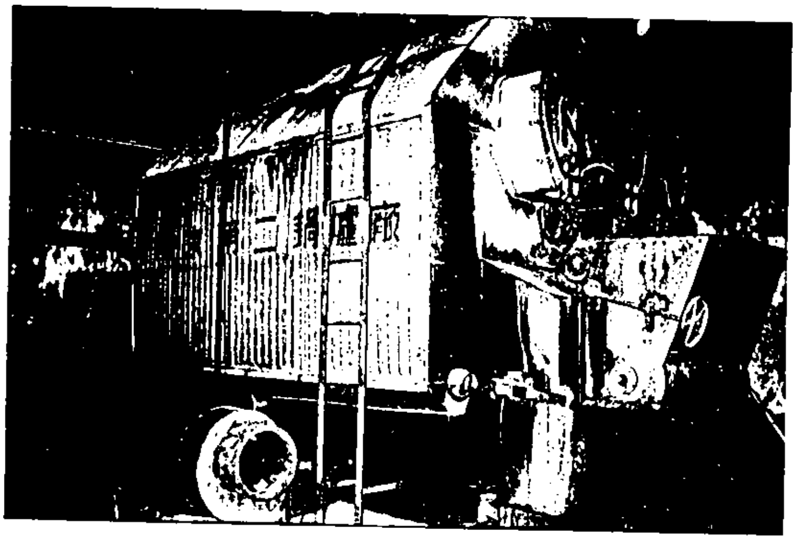


図 11.3 ストーカボイラ（蒸気発生量 2ton/h）

表 11.4 脱硫性能実証試験用成形炭の製造条件

1)石炭の全硫黄	0.87%（無水ベース）	
石炭総発熱量	5,150kcal／kg（気乾ベース）	
2)石炭	78wt%	混合
バイオマス	22wt%	
バイオマス：チップダストとピートモス混合		
3)消石灰添加量	Ca／S ＝ 2	
4)成形機		
油圧設定	175kg／cm²	

5.4 成果、問題と課題

(1) 排ガス実態調査

本ストーカボイラで使用している石炭は阜新炭と大同炭の混炭で、その全硫黄は 0.74% であった。中国の東北地方で使用している石炭の硫黄分は四川・貴州省等の南西部に比較し低く、その結果 SO_2 排出量も高くない。

図 11.4 は SO_2 の測定結果を示したもので、実線は計測値、点線は石炭の元素分析と燃焼排ガス中の O_2 濃度から計算した SO_2 の理論値であり、両者はほぼ一致している。同時に測定した NOx、CO、O_2 成分の測定結果を図 **11.5** に示す。

通常運転している場合、本ストーカボイラから排出される SO_2 濃度は約 600ppm、NO 濃度は約 180ppm であった。また、フライアッシュ及びボトムアッシュの灼熱減量から、同ボイラにおける石炭の燃焼率は 80% 程度であることがわかった。

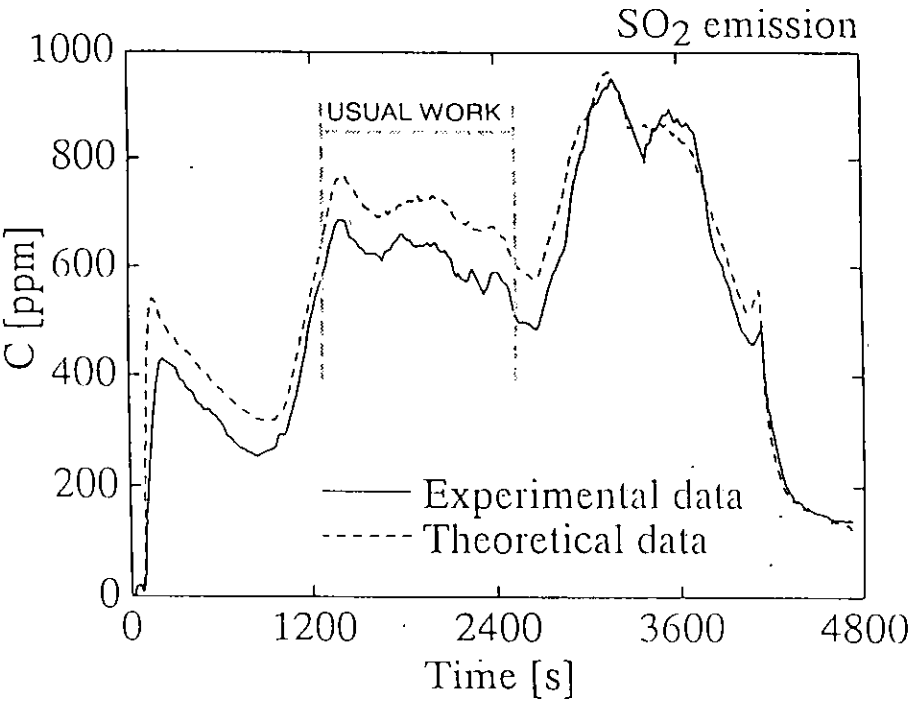


図 11.4 SO_2 排出濃度測定結果

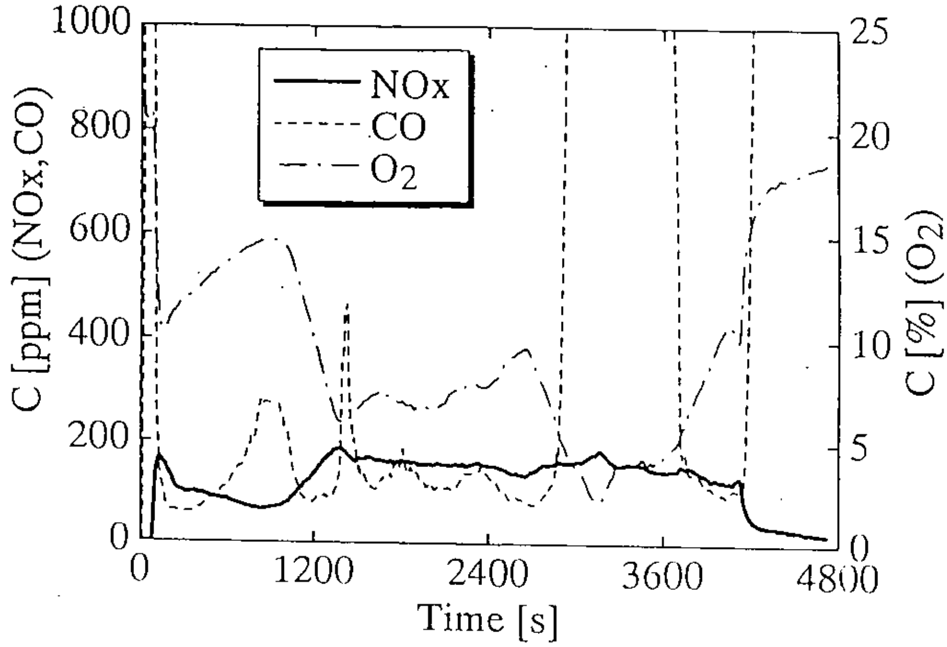


図 11.5 No,CO,O_2排出濃度測定結果

(2)脱硫性能実証試験

脱硫剤を担持させた成形炭の燃焼における SO_2 排出濃度（O_2 6％換算値）を図 11.6 に示す。成形炭の元素分析によると全硫黄は 0.53％であり、この SO_2 理論値（O_2 6％換算値）は 520ppm となる。図 11.6 より定常状態における SO_2 排出濃度は約 140ppm となるので、その脱硫率は 73％となった。本成形炭を使用した場合、従来の石炭燃焼と比較し、着火性に優れ、また燃焼状態も非常に良好となった。また、NO 排出濃度を図 11.7 に示すが、これは定常状態で約 180ppm であり、従来の石炭燃焼と差異はなかった。

稼働中のストーカボイラにおいて、脱硫剤を担持させた成形炭を使用することは、約 70％の脱硫率が得られ、安定な燃焼を継続することができることを実証した。ただし、雨等により水分の増加は成形炭の形状を破壊する恐れがあるので十分注意せねばならない。できれば、屋内貯蔵が望ましい。

本技術の普及に関しては、成形圧力が製造上のキーポイントとなる。既存の中国の成形機（ブリケッティング・マシーン）では成形圧力が弱く、強固な成形炭を製造することができないので、日本製の成形機の技術移転が必要となろう。また、これらを参考にした中国製成形機の製造が将来必要となろう。

植物質（バイオ）については、廃材の活用及び東北地方で多く産出するとうもろこしの皮の利用が考えられ、問題点は少ないと思われる。

ただし、各ストーカボイラに本成形機を付属させることは、コスト面から不利になるので、配給網を考慮した「成形炭製造工場」を瀋陽市にに数ヶ所設立する方向で検討する方が得策となろう。

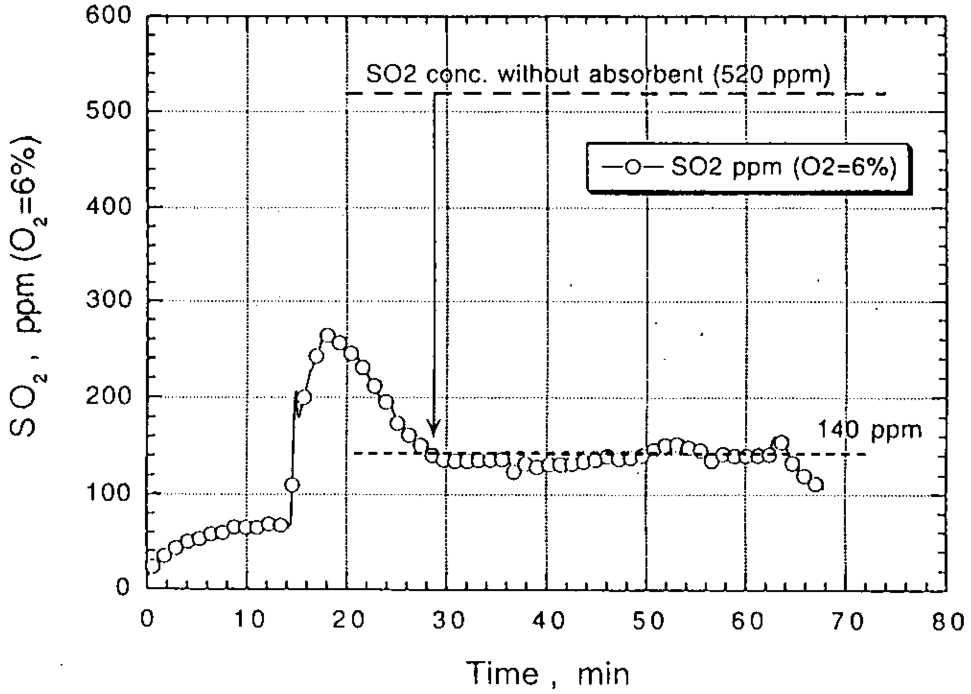


図 11.6 成形炭燃焼の SO_2 排出濃度測定結果

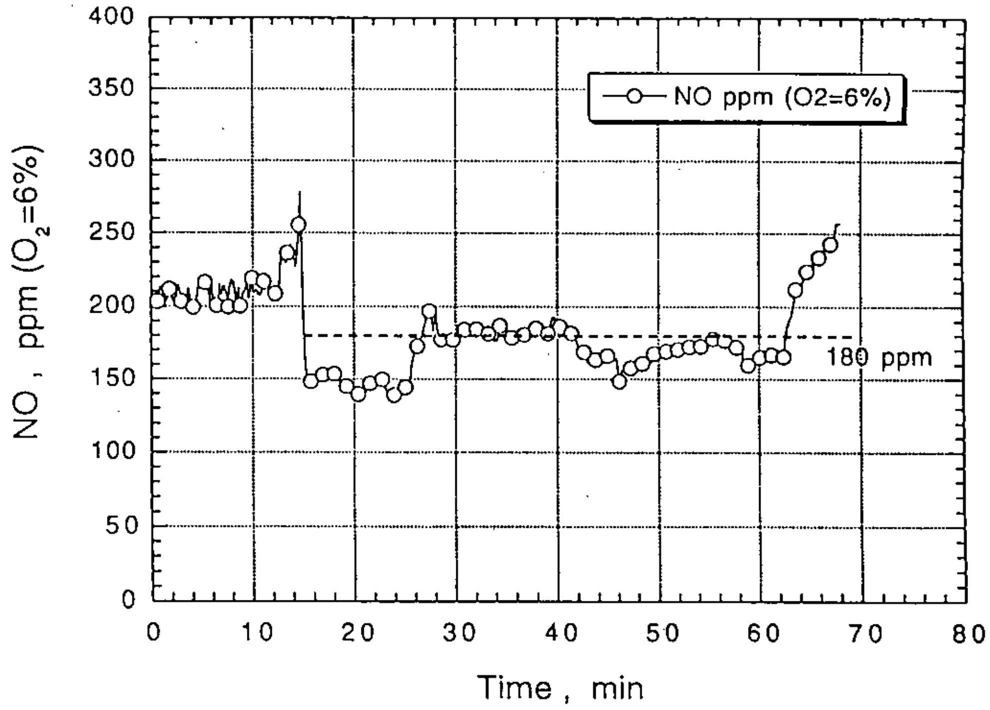


図 11.7 成形炭燃焼時の NO 排出濃度測定結果

5.5 日本の技術と中国の技術の相違

ストーカボイラ自身、日本では稼働中のものは数少なく、SO_2対策としては低硫黄分の石炭の使用か、一部排煙脱硫装置を導入しているに過ぎない。最近の傾向としては、硫黄分の非常に少ないインドネシア炭の使用で排出規制をクリアーしている。

脱硫剤を担持させた成形炭の製造技術については、日本では北海道立工業試験場が開発したバイオコール製造技術が代表的なものであり、その特徴は、2～3 t/cm^2の高圧縮力で成形することである。中国でも缶前に成形機を設置する例は見られるが、その成形圧力が弱く、多くは脱硫剤を混合していない。

大気汚染被害の深刻さとともに、中国においても本技術の採用に大きな興味を示しており、民生用とともに産業用ストーカボイラにおいても、本技術は今後、普及していくものと期待される。

5.6 当該技術に関する関係情報源情報一覧

(1)参考書

1)”中国の大気汚染と防止対策”王漢臣著、播磨幹夫監修／翻訳、重化学工業通信社(1997)

2)”開発途上国向け脱硫技術”（シリーズ）、環境管理 Vol.31 No.5～Vol.32 No.3 (1995・1996)

3)丸山敏彦、”バイオブリケットと国際協力”日本エネルギー学会誌、Vol.74 No.2 (1995)

4)北海道立工業試験場他 ”海外炭の低品位炭とバイオマスを原料とするバイオコール製造技術の開発”平成元年度共同研究報告書(1990)

他北海道立工業試験場、研究報告

5)”中国西南部の酸性雨原因物質の排出制御のための総合対策立案手法に関する研究”（社）国際善隣協会(1996)

(2)大学・研究機関

1)東京大学工学部化学システム工学科	定方正毅 教授
2)埼玉大学理工学研究科	坂本和彦 教授
3)群馬大学工学部生物化学工学科	宝田恭之 教授
4)豊橋技術科学大学エコロジー工学科	成瀬一郎 助教授

5)成蹊大学　　　　　　　　　　　　小島紀徳　教授

6)北海道立工業試験場　　　　　　　上出光志

(3)メーカー

1)太陽鉄工（株）　　栃木市大宮町2245番地

TEL:0282-27-3202

2)ユニレックス（株）　　札幌市西区発寒17条14丁目2番45号

TEL:011-663-4701

3)橋本産業（株）　（乾留無煙ブリッケット製造技術）

XII. 中国の大気汚染と対策

■1990.3, 中国,北京燕山中国石化総公司（石化省エネルギー・環境技術講義），短期派遣
■1991.2, 中国, 上海化学工学会、上海医薬工業研究院（分離・精製技術講義），短期派遣
■1992.10, 中国,甘粛塩鍋峡化工総廠（化学工業の環境技術講義），蘭州漆工業廠（樹脂技術講義）
中国石油天然気総公司玉門練油廠（石油精製・省エネルギー・環境技術講義），中国上海高橋石化総公司,中国南京金陵石化総公司,中国南京揚子石化総公司（石化省エネルギー・環境技術講義），短期派遣
■1994.4, 中国, 日中友好環境保全センター（大気汚染防止技術講義），短期派遣

播磨幹夫

1.はじめに

世界中で現在最も経済変化が著しいアジアの各国の中で、最大の人口、国土を有する中国は、寒帯地の東北地方から中央アジアに続く西北蒙古砂漠地区、ヒマラヤに接する西蔵高原から山岳地帯を東に下り沿海地域に達する肥沃な穀倉地帯、亜熱帯に広がる海南地域の広大な範囲を占めている。そして此の国の地勢・気候の変化は人々の生活の水準の向上変化と共に、大気・水質の環境汚染の拡大進行につながり、今後はその動向が一層進むものと思われる。そこでは経済発展に伴って消費されるエネルギー量の増加により、現在既に多くの人々や自然への様々な影響の変化の発生が見られるようになり、「三廃」による大気・河川・湖沼や廃棄物投棄地などへの環境汚染の今後の増加が懸念される。

1.1 我が国と異なる中国の大気の環境

中国の広大な地域の大気環境を一口に述べることは難しい。其処には地域・地勢もあるが季節による影響をはじめ、工業生産・人々の生活状況による大気環境への問題がある。そしてこれらの大気環境汚染の主要な要因は、中国が古来からエネルギー源として使用してきた石炭の燃焼排ガス中の粉じん、二酸化硫黄の増加に対する処理の遅れによる汚染である。人口密度の高い都市や計画的でない工場の分布、旧式の効率の低い設備の多い状況から大気の自然浄化力を越す現象が各地で見られ、ここ数年の政府の環境対策の努力は見られるものの、一口に言って効率の高い公害防止装置設置の遅れにより、ばいじんや硫黄化合物による汚染が人々や自然に影響を与えている状況である。

地勢で見ると、風の強い地域では、季節により大気の拡散現象の見られる地域もあるが、

風の無い時期の蘭州市や本渓市などの盆地の市の汚染、高硫黄炭の燃焼利用の多い貴州・四川地域や重工業の盛んな重慶市などは、その地勢や工業、民生施設からの発生による環境汚染はそのスケールにおいて我が国と大きく異なる。

我々外国人が短期間で一部の状況・現象を見て、中国はこのような状況であるとの表現をしがちであるが、この広大な国の大気の環境汚染の全体の状況を数値的に知るには、畢竟、政府機関の発表する国全体の統計数値に依存せざるを得ない。そしてこれらの発表数値は大体 2 年前の数値で、変化の速度が著しい此の国の現状の正確な把握は難しく、局部的・非定性的な経験での話題になりがちである。中国にとって目前の大気汚染対策である粉じん・二酸化硫黄の処理に加え、冶金・化学工業などからの排出ガス中の窒素酸化物、有機物質や、今後大きな増加が予想される自動車の排ガス、二酸化炭素の処理等の問題が控えている。そして現在中国での大気への汚染物排出の多い工場からの排出物は、一般に小規模で古い設備が多く、効率の高い大気環境分野の防止設備の設置が後手に廻っている状況である。排ガス汚染源となるの設備の省エネルギー対策や効率の向上などと共に、排ガスの質や量の低減が今後の系統的な設備投資を通じて求められている状況である。

広大な国土とは言うものの、あまりにも多量の石炭の燃焼ガス発生のため急速な拡散による汚染濃度の低減化への依存のみでは困難であり、有害汚染物質の除去設備設置の遅れによって人口高密度の地域への影響が著しい。

現在既に工業製品の生産量及びエネルギーの使用量は我が国を凌駕し、米国に次いでいるが、国土面積或いは人口当たりの数値は世界の各国と比較すると低い値である。内陸地域に比較して沿海地域への人口や各種設備の集中により、石炭の生産地と消費地の輸送問題をはじめ消費地の人口集中、工業施設の集中が起り、著しい大気汚染の状況がみられる。従って、単に人口や国土面積当たりの発生粉じん量や二酸化硫黄量の数値での評価は的確ではない。

一方、我が国においては、太平洋ベルト地帯に高密度の人口、工業施設が集中し、工業生産・交通運輸・生活面での大気汚染の発生要因があるため、様々な防止対策を施さない限り厳しい環境にあった。そして 1960 年代当時に始まった経済高度成長においては、それに伴うエネルギー使用量の増加で発生する大気汚染・公害問題に対し、産・官・学共同による対策の促進がみられ、工業設備規模の各種の公害防止装置の設置、稼働により大気汚染防止対策の効果で改善された優れた環境が見られる状況が出現した。また、我が国のエネルギー源として、海外からの石油資源を輸入し、国内での大型製油所における石油脱硫設備による低硫黄燃料の製造に加え、燃焼排ガスの脱硫設備の設置を行った。

しかし一方では、これら海外からの石油資源への高い依存から、多種エネルギー利用体制への転換が求められる中、石炭の利用は比率を増加していく必要がある。石炭利用に当たっては環境問題を含めた有効な利用技術と装置が必要であり、此の点からも中国での利用状況を把握し、対策の確立を行うことが重要な問題の一つである。

2. 中国の大気汚染の状況

2.1 中国の環境概況と大気汚染の状況と問題への対応

アジアの中で、最大の人口、国土を有する中国の経済発展速度は、大きな影響を世界に及ぼすこととなり、その使用エネルギー量の増加に対して基本的な防止対策を今から考え実施しなければ、国内外での様々な環境問題を生ずることが予想される。

大気・水質・ごみ排出物の「三廃」各汚染物による自然環境の破壊が広大な国土の各所で進み、人口密度の高い都市や工業施設の稼動地域では、自然の浄化能力だけでは環境保護が保たれない現象が多く見られるようになってきている。

この三廃の中で大気汚染は、大部分がエネルギー源の約 3/4 を占める石炭の燃焼排ガス中のばいじん、二酸化硫黄、窒素酸化物等により発生している。

中国における石炭の利用に関しては、現状の中国の経済の発展動向から考えると今後益々増加するため、既に発生している深刻な大気汚染状況は、対策を実施しない限り一層深刻化するであろう。特に二酸化硫黄による大気汚染の進行が憂慮される。石炭燃焼排ガスの脱硫には、石炭燃料の改善をはじめ、燃焼装置・機器の改造並びに炉内・排煙脱硫法など各種の方法があり、また、石炭のガス化法や液化法による燃料の低硫化もある。中国の各所にみられる燃焼装置の現状を見ると、省資源・省エネルギーのためにその設備の大規模化や近代化技術の導入により効率の改善を実施しなければならないものが多い。

これら設備の近代化及び公害防止施設の設備などには高額な資金を必要とし、現在の国営企業の体質改善への変化が求められる状況の中で、豊かになれるものは先に豊かになれの掛け声の下で先進国への参加に向けて進みはじめた全中国では、ここに来て環境対策実施は後には引けない事態となってきていると言える。

広大な国全体の大気汚染の状況を把握するためには、最近は多く見られるようになった政府の関係機関の発行する各種統計数値に頼るしかないが、春先などの局地的なスモッグ発生時期の視界の低下や、空気の汚れによる喉の痛み、肺障害患者の増加、森林樹木の立枯れ、建造物・構築物の腐食状況などを見る限り、その系統的な発生源の把握と有効な対策が必要といえる。そのためには、先ず多くの箇所での正確な長期の測定による資料の蓄

積から、その解析により発生状況と被害の因果が求められねばならない。

以前はかっての先進国にも見られたが、中国での一般の認識に、生産第一・環境第二といった傾向も見られた。しかし、中国政府は現在では様々な法律・規制・標準の制定を行い、その基礎となる汚染の状況の測定及び解析があわせて行われる一方、いわゆる公害防止機器・設備の事業者への設置義務付け、燃焼炭の改質、燃焼設備の効率化、集じん・脱硫装置の技術開発から設置へといった環境政策に力が注がれてきており、我が国からのこれら各方面への協力も少なくない。

工業設備からの排出ガスについては、石炭による発電設備や大型の動力設備から、動力・熱電供給設備、中小型ボイラーをはじめ民間用暖房・厨房炉、さらには多数の各家庭での石炭燃焼かまどまで、各種燃焼設備からの排出ガスは大気汚染に大きく影響を及ぼしている。一方最近、数や規模とも増加が著しい郷鎮企業の石炭利用量の増加は、その排ガス量などが統計に現れていない場合が多く、これら企業の資金や技術面の水準からみて今後の動向を見逃すわけにはゆかない。以下に中国における大気汚染の状況を概観する。

1993年の中国の都市でのスモッグの現象は、冬と春では夏と秋に較べるとその発生が多く、北部は南部より、大都市は小都市より大気の汚染が厳しい状況がみられる。また全国での排ガスの総量は 11.0 兆m^3（郷・鎮企業、それ以下のものを除く）に達し、排ガス中の粉じんは 1,416 万トンと前年の水準を保っている。また二酸化硫黄の放散量は 1,795 万トンで、前年比 6.5%の増加、工業粉じんの排出量は 617 万トンで前年比 7.1%の増加である。

図 12.1 に 1988～1994 年の中国の排出ガス中の主要汚染物の排放量を示す。

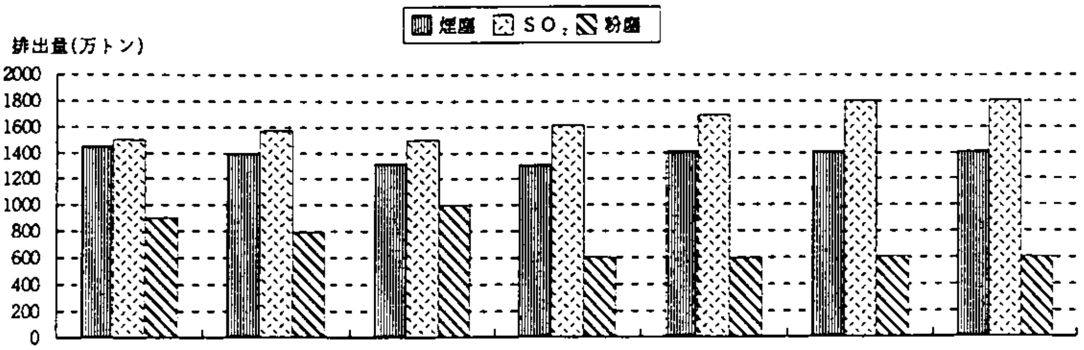


図 12.1 1988～1994 年の全国排ガス中の主要汚染物質排出状況（郷鎮企業は含まず）

これらは74の都市の統計数値で吉林、万県、太原、蘭州、烏魯木斉市などを含む38の都市の日平均値は国の定める国家二級標準値を超過している。

73の都市の統計では降じん量の年月平均値は月に4.0- 83.5トン/km^2で、前年に較べて明らか増加がみられ、南方の都市に比べると北方の都市の汚染が多いことは変りがない。汚染の深刻な都市は包頭、鞍山、大同、唐山、**哈尓濱**、済南、銀川、石家荘、長春、太原などである。77の都市の統計値では大気中の二酸化硫黄の年日の平均値は10-147$\mu g/m^3$で前年水準値を維持しており、北方の都市ではその平均値は 100$\mu g/m^3$、南方の都市の平均値は96$\mu g/m^3$で前年水準を維持している。

国の定める国家二級標準値を超過している都市は、貴陽、宜賓、重慶、南充、済南、青島、烏魯木斉、大同、保定、石家荘、宣昌、天津、唐山、洛陽、太原などの統計都市の20%の都市が前年に比較して増加している。

77の都市の統計では窒素酸化物の年月平均値は10-147$\mu g/m^3$で、前年比同水準である。北方の都市は平均59$\mu g/m^3$、南方の都市は40$\mu g/m^3$である。汚染の深刻な都市は烏魯木斉、大連、広州、蘭州、北京、鄭州、深圳、長春、瀋陽市等である。

酸性雨は局部地域に限られており、73の都市の統計値によると降水のpH値の年平均値の範囲は 3.94-7.63、pH値が 5.6以下の都市が 49.3%、沪州、長沙、南充、宜浜、坏化、重慶、梧州、南昌、滇州、杭州、衡陽、桂林市などで酸性雨の出現頻度は 70%以上である。

表12.1に1990年の実績と1995年の主要都市の計画大気汚染状況を値を示す。

表 12.1(1/2) 中国主要都市の大気汚染状況 1993～1994

都市名	総浮遊微粒子濃度 (μ/m^3 *) ①	②	SO_2 年日濃度 (μ/m^3 **) ①	②	工業排気処理率 (%) ①	②	工業排気排出総量 ($10^8 Nm^3$) ①	②	工業排気処理総量 ($10^8 Nm^3$) ①	②
北京	407	360	122	100	89.26	90.00	2812.00	3200.00	2510.00	2880.00
天津	290	350	100	200	69.74	81.82	1335.00	1980.00	931.00	1620.02
上海	350	330	120	120	82.77	84.00	3534.90	4263.00	2926.00	3581.00
広州	270	300	90	80	75.79	85.00	1144.29	1530.00	867.26	1300.00
武漢	320	300	60	60	84.64	87.45	965.73	1204.50	817.44	1053.50
重慶	445	450	362.5	400	59.30	60.00	1422.00	2000.00	844.00	1200.00
沈陽	530	470	138	100	63.43	80.00	720.00	850.00	456.70	680.00
哈尓濱	480	400	40	55	68.03	75.00	1060.00	1980.00	721.70	1490.00
南京	302	350	74	80	—	60.00	1455.70	1624.00	—	974.94
成都	320	253	70	50	43.03	70.00	762.79	810.00	323.23	567.00
蘇州	312	300	80	60	78.60	80.00	—	—	306.70	—
桂林	280	200	120	90	79.10	62.60	50.60	65.30	39.98	51.59
昆明	440	200	55	20	76.15	85.00	476.79	499.00	363.06	400.00
西安	400	300	54	60	66.90	74.00	396.14	449.14	264.90	332.36
開封	450	400	76	60	80.81	85.00	172.00	173.06	139.00	147.10
深圳	110	200	9	60	61.50	63.00	39.00	400.00	24.00	252.00
珠海	100	150	10	20	64.66	80.00	62.02	72.00	40.10	57.60
汕頭	200	<300	35	< 60	46.00	87.00	107.70	415.79	31.42	361.74
厦門	250	250	70	—	75.00	80.00	38.00	54.00	28.60	43.20
福州	210	200	90	90	54.60	60.00	270.00	341.00	147.00	207.00
温州	280	300	60	60	51.91	76.00	88.87	170.00	46.13	130.00
寧波	310	300	60	60	55.71	75.00	561.34	1093.50	312.00	820.13
南通	299	323	56	64	93.69	90.00	239.56	480.40	224.45	432.40
連雲港	486	500	80	80	80.30	85.00	126.66	300.00	101.67	255.00
大連	152	130	86	81	74.00	76.00	237.00	250.00	177.00	190.00
煙台	288	260	99	90	—	—	—	—	—	—
秦皇島	440	400	60	80	64.40	70.00	167.70	210.00	107.92	147.00
堪江	230	250	40	60	68.33	80.00	132.22	312.70	90.34	250.00
北海	90	30	14	20	82.00	85.00	17.00	30.00	14.00	25.50
海口	92	90	2	2	—	—	—	—	—	—
蘭州	910	830	65	73	—	—	—	—	—	—
太原	650	630	300	360	86.90	83.50	809.50	1024.50	703.50	855.92
吉林	710	650	62	60	27.30	50.00	304.00	360.00	83.00	180.00
唐山	750	650	120	110	89.75	90.00	1650.00	1858.00	1481.00	1654.00
石家庄	550	500	280	<280	81.70	88.00	415.80	566.00	340.00	500.00
長春	470	350	40	57	61.10	80.00	375.50	477.30	229.60	381.00
済南	524	500	126	126	81.50	85.00	683.60	863.60	557.00	734.10
鄭州	600	400	65	60	80.68	—	526.54	—	424.79	—
青島	400	400	245	176	56.08	57.00	633.00	950.00	355.00	541.50
長沙	206	205	189	185	77.40	85.00	144.20	240.00	111.70	204.00
合肥	200	200	60	60	—	—	—	—	—	—
南昌	188	<250	43	< 60	—	—	—	—	—	—
洛陽	680	500	100	100	77.56	—	512.72	—	397.65	—
大同	584	442	281	319	86.62	92.10	606.24	760.00	525.16	700.00
貴州	488	310	372	100	—	—	—	—	—	—
南寧	250	150	60	50	80.00	85.00	95.87	180.00	79.26	155.00
烏魯木斉	500	500	200	200	—	—	—	—	—	—
西寧	800	700	50	< 60	49.40	55.00	10.72	15.00	5.20	8.50
呼和浩特	675	≦500	90	<100	—	—	—	—	—	—
銀川	580	450	50	40	—	—	—	—	—	—
Total							25163.60	32043.69	18153.56	25363.10

注； ①1990 年実際数値. ② 1995 年計画数値.

出展：北京工業大学引用資料

表 12.1(2/2) 中国主要都市の大気汚染状況　1993～1994

都市名	二酸化硫黄排出量 (10⁴トン) ①	②	SO_2除去量 (10⁴トン) ②	煙じん排出量 (10⁴トン) ①	②	煙じん除去量 (10⁴トン) ②	①	工業粉じん排出量 (10⁴トン) ②	①	工業粉じん回収量 (10⁴トン) ②
北京	34.65	45.00	11.25	25.21	26.00	112.00	7.00	7.00	59.00	60.00
天津	22.03	38.00	6.10	18.50	14.00	223.00	6.00	6.00	16.00	17.00
上海	41.50	57.00	14.00	18.93	20.00	112.00	7.00	5.00	98.00	112.00
広州	13.15	21.37	0.80	4.19	7.54	34.48	3.01	2.80	38.08	40.50
武漢	9.93	12.81	--	7.18	9.80	79.20	5.85	5.50	44.00	48.00
重慶	70.93	77.76	3.60	17.91	18.00	50.00	7.07	5.03	13.85	15.07
沈陽	15.80	20.60	3.60	10.80	11.00	20.40	0.68	1.00	0.90	1.45
哈尓濱	5.57	10.60	--	32.06	39.00	190.00	3.75	6.00	13.28	18.00
南京	16.96	20.80	0.50	10.26	13.00	50.00	9.55	10.00	36.38	52.93
成都	29.00	30.00	0.85	21.50	22.00	60.00	2.65	4.50	5.32	3.50
蘇州	7.46	21.00	--	3.89	17.70	--	6.00	10.40	8.00	18.50
桂林	2.73	5.98	4.38	1.77	7.98	19.79	0.07	0.14	0.54	0.50
昆明	5.23	4.50	3.00	6.83	6.50	20.00	3.11	2.50	19.14	21.00
西安	13.42	14.00	--	11.14	9.00	10.70	1.25	1.00	1.08	2.30
開封	2.17	2.30	0.13	3.48	4.00	45.00	0.29	0.40	0.24	1.00
深圳	0.25	3.00	0.01	0.12	1.00	73.00	0.10	0.30	1.14	1.50
珠海	0.31	0.50	0.25	0.40	0.45	0.32	0.60	0.40	0.06	0.28
汕頭	1.22	4.01	0.07	0.75	1.44	27.93	0.00	0.10	0.06	0.20
厦門	0.85	1.10	0.28	0.92	1.20	6.00	0.70	0.80	0.66	0.70
福州	2.80	5.50	0.34	0.83	1.69	31.00	0.33	0.31	1.54	2.06
温州	1.98	4.00	--	1.44	2.50	12.00	0.08	0.30	0.33	0.80
寧波	9.46	17.30	--	3.67	5.30	35.00	1.60	2.50	3.73	4.00
南通	3.63	9.24	0.26	3.16	3.99	65.75	1.00	1.47	1.00	1.00
連雲港	3.17	8.53	--	2.88	5.81	32.94	1.50	3.00	1.25	1.83
大連	14.58	20.00	0.07	10.35	13.00	20.00	7.30	10.00	22.90	24.00
煙台	7.29	13.90	14.00	3.68	6.01	6.01	5.00	4.88	9.89	10.67
秦皇島	4.39	6.50	1.13	5.08	6.00	6.00	3.51	6.00	8.92	15.00
堪江	1.08	4.40	0.27	1.15	1.40	24.21	2.35	1.60	3.45	6.80
北海	0.22	1.04	0.31	0.51	0.32	4.05	0.28	0.45	0.22	0.96
海口	0.34	0.98	--	0.11	0.32	1.30	0.11	0.29	0.06	0.17
蘭州	0.43	11.15	0.18	9.32	10.47	0.50	3.66	4.54	0.71	2.16
太原	12.40	20.77	--	7.40	9.87	3.53	4.21	6.07	31.94	51.38
吉林	3.70	4.50	--	18.05	10.60	227.00	3.95	3.40	16.00	19.50
唐山	19.47	28.33	7.08	18.17	18.79	116.23	4.00	6.30	52.00	56.73
石家庄	7.88	9.63	2.55	10.26	9.38	37.10	4.82	4.40	10.23	9.38
長春	1.97	2.39	1.77	4.48	3.38	62.75	0.30	3.80	6.00	15.97
済南	14.94	19.10	0.25	5.64	8.50	48.20	11.23	10.50	34.22	36.70
鄭州	3.82	9.00	1.00	6.18	8.57	34.30	4.94	5.00	32.27	35.00
青島	30.43	44.40	6.50	19.16	23.57	128.45	4.02	3.00	8.16	10.00
長沙	4.30	5.60	--	2.20	1.80	--	1.81	1.40	1.71	20.00
合肥	2.88	3.50	1.00	6.50	5.90	3.09	3.00	3.00	--	6.00
南昌	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--0
洛陽	10.14	12.70	2.70	3.90	12.20	2.20	3.04	3.00	30.45	0.35
大同	7.06	9.70	--	4.13	3.48	11.40	5.20	8.70	32.75	45.00
貴州	25.42	29.88	3.02	8.13	7.40	0.38	2.38	2.84	8.71	10.52
南寧	4.40	5.60	1.80	2.50	3.04	27.46	2.13	2.36	3.37	5.06
烏魯木斉	8.00	11.00	--	12.60	14.00	29.82	2.90	3.00	3.90	4.00
西寧	1.13	1.50	0.00	3.30	10.00	5.00	0.67	1.00	0.19	0.22
呼和浩特	5.41	7.13	--	5.50	7.26	7.26	7.27	0.69	0.53	0.83
銀川	4.39	5.94	1.12	2.23	3.50	12.03	0.92	1.01	1.92	3.49
	519.18	723.54	94.17	383.33	447.79	2133.88	158.28	173.68	684.08	814.01

注；① 1990 年実際数値．② 1995 年計画数値

出展：北京工業大学引用資料

2.2 中国の大気環境保全技術の状況

中国における大気環境保全対策の中心技術であるばいじん、二酸化硫黄の排出対策への取組は様々な方面からの研究が行われてきている。そこには主要原因である石炭の燃焼への一連の利用の各段階での粉じん、硫黄分の低減対策がみられる。これらは我が国の輸入炭の使用状況とは異なり、国内各地での様々な品種・品質のものに対し、採炭から使用までの経過の中での対策がみられる。また従来から良質炭を海外輸出にまわして外貨を獲得し、国内では低炭質を使用する政策にかんがみ、山元での選炭から排煙脱硫過程に至る間の様々な硫黄分の低減が考えられている。最近中国でも本格的な排煙脱硫法について商業設備の設置動向がみられる。大型設備については我が国で広く行われている湿式法が重慶華能国際電力開発公司へ三菱重工(株)の商業ベースでの納入が行われ、これに加え、日中政府間のグリーンエイドプランによる湿式・乾式排煙脱硫装置例がみられる。

中国では現在まで排煙脱硫装置に関しては乾式或いは半乾式法への指向傾向がみられてきた。これらは国内各所に多くある 35 トン程度以下のボイラー排ガスの処理に用いられ、その他の更に小型の石炭燃焼装置に対しては原料炭の処理などの対応が考えられてきた。湿式法の副生成物の石膏についてもその利用が進められ、回収硫黄源の利用には硫酸や燐安肥料製造などの研究が行われてきている。

これら研究には、 1).石炭の洗浄による脱硫、 2). 20～10 トン規模 80%脱硫率の流動床による脱硫、 3). 25m^3/h 脱硫率 90%規模の電子線ビーム法、 4). 高硫黄炭の磁力選別による無機硫黄の分離、 5). Fe_2O_3による吸着法 6). マイクロ波利用の脱硫法、或いは 7). 2 ～4 トン規模の工業用ボイラーへの成形炭利用などの実用化がみられる。

これらの各種の石炭利用時の排出物の低減対策には、その発生状況の把握から排出物の計測・測定が必要となる。このためには各種の測定、分析設備をはじめデータ網の設置、ならびに技術、人員の育成が必要となっている。

3. 効果的な技術移転事例とその概要

先に記したように大気汚染の主要な原因である石炭燃焼は、大型発電設備や工業動力用設備の他に、発生ガス量は少ないが無数の家庭などからの石炭排ガスが発生しており、人口の密集した都市では深刻な大気汚染を生じている。そしてこれらの各燃焼装置は、その使用炭種や規模と設備に応じた大気汚染防止対策が考えられなければならない。

一方ではこれらの様々な要素のある大気汚染防止対策に関する技術の移転に当たっては、

我が国と異なる経済水準をはじめ石油の精製や輸入炭の利用、各種周辺設備や技術、計測・制御・材料・機器類の問題などの大気汚染防止対策をとりまく周辺の問題について、現地の事情と政府の指導方針を十分理解しておく必要がある。

技術の移転に当たっては該当技術は様々なものが考えられる。そこには、中国が第7次5ケ年計画当時から行なって来た石炭利用に関する様々な研究テーマとその成果から、ボイラーなどの燃焼設備の改善、排煙脱硫装置などが有り、特にこれらの大型設備・装置は高額な投資を伴うものである。経済水準が我が国に比較して低い中国では、これら高額な設備はたとえ環境対策といえども我が国からの直接の購入は困難で、その国産化のための技術開発が望まれる。逆に、技術導入などによる早期の国産化を行ったとしても多くの機器や部品から構成される大型設備の早急な設置、稼働は難しいといえる。また我が国の民間企業においても、採算を度外視した技術や設備の供与には困難が伴い、畢竟現地の様々な事情を加味し、中国側の立場も尊重する対応策となると、国家ベースのソフトや大型機器、電気、計器については日本側、また、土木・建築・建設工事については中国側による共同開発の資金援助といった形式の推進が望まれることとなる。

また中小規模の石炭燃焼設備の排煙脱硫設備については、中国で開発が進められてきた乾式或いは半乾式法は、我が国の生産設備では都市ごみの焼却排ガス処理にのみ使用されており、長期の排煙脱硫装置の市場規模装置についての実績は無く、この点では我が国の企業にとっては実際の装置には共同開発的な業務の進め方が適当であると考えられる。

実際現在まで進められている技術移転事例としては、我が国政府のアジア地域への各種援助事業の中で、中国の環境問題への対応に国際協力事業団（JICA）の活動による無償援助がプロジェクト方式・技術協力の形で次の事業が1992年 9月 1日より開始されている。すなわち1988年に当時の竹下首相の訪中、李鵬総理との協議の結果、中国政府の日中友好環境保全センターの設立事業に「日中平和友好条約締結十周年記念事業」の援助が定められた。そして95年 8月迄の 3年間を第一期として専門家の派遣や研究員の受入れ、機材の供与などが一括して行われた。日本からの専門家チームが赴任し、その活動は環境観測技術や公害防止技術、環境情報、環境戦略・政策研究、環境技術交流・公共教育などの 5分野にわたり、中国技術者の人材養成が進められている。

また通産省がグリーンエイドプランの一環として、中国への脱硫技術の普及を目的に簡易脱硫のモデルプラントを無償供与し、実証運転を行う協力が行われている。これらは総事業費が 73億円の電源開発が実証運転までを行うもので、93年度の第一方式は三菱重工(株)の黄島向半乾式脱硫装置、94年度の第二方式では(株)日立製作所の山西省太原の

300MW の第一発電所向けのものがある。

これら大気汚染防止対策の効果的な技術移転に当たっては、その内容・規模からみて総合的には国家水準の協力が民間企業を含め行われることが望ましいといえる。

次に大気汚染対策には広い分野が考えられる。すなわち官・学・産各分野でその法令・規制・組織の制定から、計測・測定・分析などの方法、資料の整備・解析、組織・設備の制定、要素技術の移転、人材の育成までを含む、効果的な技術移転項目が考えられる。そして、そこには各項目に応じた政府機関の援に加え、大学、民間企業ベースでの協力がある。

4. 日本の技術と中国の技術の相違

我が国の大気汚染防止対策の基礎は排煙の集じん及び脱硫・脱硝の技術ならびに同設備である。最初に 1962 年ばい煙規制法が制定され、続いて 1968 年に大気汚染防止法が制定される等段階的に行われてきた規制値の強化に対し、我が国の脱硫技術の開発経緯は、最初は活性炭を用いた乾式法への研究から続き各種湿式法の開発が行われ、1970 年頃からの大型発電設備への湿式石灰・石膏法の普及により、大型排煙脱硫装置への基礎が確立され、世界でも稀な大気汚染防止設備の完備した環境が出現した。更に続くオイルショックの事態に対応するために、広く使用されてきた石油燃料から石炭への転換が行われ、石炭焚ボイラ排ガス処理技術も 1980 年代はじめには確立された。これら多くの実績に基づく開発研究と合理化により、湿式石灰石膏法排煙脱硫設備が一層の高い性能と信頼性を持つものとなり、併せて設備のコスト低減も計られてきている。一方では、これらの湿式石灰石膏法の特徴の一つとして、副産品として品位の高い石膏が回収出来る事も挙げられる。

その他、国内各地の、各種産業用ボイラーでは、アルカリ系の薬液による湿式法も多く稼働しており、中小型ボイラー用排煙脱硫装置には、臨海地域で廃水処理の不要な建設費が安価な簡易排脱法として水酸化マグネシウム法が主流となってきている。そして我が国で初期に研究された活性炭による乾式法や、米国などに見られる石灰による乾式法や半乾式法はごみ焼却設備を除いては建設されなかった。これらの方法は湿式法と違い排水処理が不要な点や、設備構成が簡単で建設費が湿式法より安価な点が評価される。このうち炉内脱硫法は設備的にはボイラの一部改造で済み、また石灰石を原料として利用できる点などから最も簡単な脱硫方式と言えるが、脱硫効率は余り高くない。一方、消石灰スラリーをスプレードライヤーの中に噴霧しガス中の SO_2 と反応させる半乾式法や、炉内脱硫とこ

の半乾式を組合せる方法などは、簡易脱硫法の中でも比較的高効率を達成することが出来る。現在の中国では、高脱硫率の湿式石灰石膏法への評価は高く高脱硫率の湿式への関心もみられるものの、設備費や運転費などの面からこれら設備は高価のため、やや脱硫率は低くても安価な設備が求められる傾向が見られる。これらの様々な動向に対して、我が国の官・産・学を挙げてのこの隣国の事情に適合した最適の方法の模索がされてきた。

先に記したように、エネルギー源の多くを石油に依存していた我が国では、石油燃焼時に発生する煤じん及び・二酸化硫黄による工業設備に係る大気汚染対策は、大型湿式排煙脱硫装置の開発により商業規模でほぼ満足するものが得られた。これらに加え、関連技術として石油の脱硫精製技術や設備の普及をはじめ、汚染物の少ない天然ガスの利用、石油のガス化ガスの利用の普及が背景にある。

我が国のエネルギー源の多くが石油の燃焼に依存しているのに対し、中国の様々な性状の石炭を用いる工業設備の運転では、石油燃料の燃焼に比較して慎重な配慮が必要である。また、一定の品質でない原料炭の利用は下流の装置の連続稼働に様々な支障を来すため、大きな問題となっている。従って、技術移転に当たっては、これらの現状把握と試験装置によるデータの採取を行ってから、解析・設備のスケールアップを行う技術が必要となる。勿論、我が国においても多種類の資源を利用するため、石炭の燃焼、除じん、排煙脱硫技術・設備の開発も進められ、その一方では流動床ボイラーや石炭ガス化、液化技術の研究・開発も盛んである。これら分野の研究は中国でも行われているが、本格的な設備の設置には相当の期間と資金や技術の援助無しでは実現が困難と考えられる。これが我が国から見て、将来の中国の石炭資源の開発、及びその利用を含めた政府間の協力において、環境問題を含む総合的な技術移転が必要と考える所以である。

従来、中国における環境対策への一般の認識としては、環境汚染の比重の高い産業設備で、かっては先進国でも同様であった生産第一、環境問題第二という意識がみられた。しかし、最近は各種の汚染被害の広がりから、被害の数量的な実態への認識が一般にも行われるようになり、各種の政府機関の規制や具体的な指導、広報活動が進むにつれ改善対策がとられはじめている段階である。これら隣国の大気・水質・その他環境問題への対応に、1994 年の春に日中友好環境保全センターにおいて排煙脱硫対策の講義をする機会があった。そこでは同センターの研究施設への我が国の多くの協力項目が見られる一方、同センターならびに大学、生態研究所等における中国独自の研究項目も多く知ることができた。

5. 中国の各種情況

5. 1 中国における環境行政の動向

1993年には20周年を迎えた中国の環境行政について概観する。最初に第一回全国環境保護会議が招集され専担組織などが決められた。その後現在の改革開放路線が定められた歴史的に重要な78年末の11期三中全会の会議で、経済建設と環境保護を同じ比重で進める新しい国家政策が打ち出された。続いて、'79年から'80年迄は我が国の公害対策基本法に相当する中華人民共和国環境保護法の施行をはじめ各種の法制が逐次整備された。これら行政組織は国務院の直轄下で、国家環境保護局を中心に、省・自治区、直轄市・市・地区・県の各級の区分による各人民政府の指揮下で、各環境保護委員会・環境保護局の組織が設けられ、SO_2の排出量が全世界の約15%(日本の14倍)といわれる重大な大気汚染問題として硫黄酸化物の除去対策が実施されてきた。発電をはじめ各種の動力、熱源の大部分を石炭に依存する中国では、集じん設備の設置は進められてきているものの、排ガスの脱硫装置はほとんど設置されていない状況であったが、本文に紹介されている各方面での脱硫法の推進の結果、工業的排煙脱硫装置の建設が先進各国の協力で始まった段階である。また四川、貴州や広州地域で多くみられる硫黄酸化物に起因する酸性雨の被害は、その的確な発生源や発生状況、量、濃度等正確な原因の把握や確認に関し今後の努力に待つしかない。

我が国の大気環境基準では、SO_2の日平均数値が0.04 ppm (0.114mg/m^3)以下と定められている。中国では0.05, 0.15, 0.25mg/m^{3}の3段階となっており、地域により適用が異なる。大気汚染対策が進められる中で、排煙脱硫装置には我が国からの各種の協力や援助が行なわれている段階である。

全国平均硫黄含有量が1.20～1.30% の中国炭の燃焼による硫黄酸化物の大気への放散量は、全国で1991年頃時点では約2,000万トンといわれている。総エネルギー消費量の中で石炭消費概算量が9.5億トン、内発電所では3億トン以上、工業用は4億トン以上、民生用は3億トン以上のこれらの数値は、現在の中国の経済発展状況から推測すると2000年には倍増するであろうされている。

設備容量が70万kW以上の大規模火力発電所は全国で19ケ所あり、その他中小規模の設備は全国に散在している状況である。大規模火力発電所の燃料は全て石炭が用いられており、その立地は大都市近郊に集中し、最低限の対策として電気集じん装置(EP)による煤じんの除去が行われているが、大型設備の大気汚染対策に必要な排煙脱硫設備は設置されていない状況である。1990年の全発電設備は1.4億kW中の約70%の1億kWが石炭火力で、2000年迄にこれらの発電設備は倍増し、その内の1億kWは石炭火力による新設設備が建

設されるであろうといわれている。従って、新設石炭火力の建設には脱硫設備の設置無しでは考えられない状況であり、政府関係機関は高い脱硫率と経済的で信頼性の高い設備と技術を確立することを急いでいる状況である。

5.2. 中国の大気汚染対策と排煙脱硫技術の研究と取組

大気汚染発生の大部分を占める石炭に関し、その燃焼法・同設備において炭質の多様性に対応し、最終的な大気の浄化対策を行うためには、いずれにしても採炭過程から燃焼排ガスの除じん・脱硫の間の各種工程を通じて、定められた排ガス規制値が経済性を含め総合的に達成できれば良いわけで、今後は七五計画の時点から種々努力されてきた技術の成果を踏まえ、実行段階に入る時期にあるといえる。当面は集じん・脱硫が最大の課題であるが、続いて窒素酸化物や二酸化炭素対策は今後の課題である。これら広範囲な大気汚染対策の各種のテーマには、わが国の行政機関にとっても石炭の採掘から始まる各種エネルギー利用、環境問題といった政府の各方面の機関の協力を必要とすることとなる。またその協力の方法も中国政府からの要望による FS をはじめ人材の育成、モニタリング、モデルプラントの建設などに対する資金・技術・人材の供与など多岐にわたる。

5.3. 中国の環境保護産業

中国全国での環境保護産業に関わる企業及び事業の数は、1995 年頃は 8,651 社で、企業単位が 7198 社、事業単位は 1453 社である。この中で専業は 4556 社、兼業は 4,095 社である。全国環境保護産業の職工総数は 188.20 万人で、企業単位の職工は 169.85 万人、事業単位の職工は 18.35 万人である。環境保護産業の職工群の中で中級以上の専門技術者は 15.32 万人である。全国環境保護産業が所有する国家資産総額は 450.11 億元で、年生産額は 311.48 億元、年間利益は 40.91 億元である。環境保護産業の固定資産総額は 424.53 億元、年産額は 289.52 億元、年間利益は 34.67 億元である。

環境保護産業中で環境保護関連製品を生産している企事又は事業数は 3,185 社で、職工は 51.71 万人、固定資産総額は 100.98 億元、年生産額は 103.97 億元、年間利益は 13.39 億元である。三廃総合利用の企・事業数は 2806 社で、職工は 92.46 万人、固定資産総額は 257.76 億元、年産額は 169.28 億元、年間利益は 14.83 億元である。自然生態保護事業は、425 社、職工は 13.41 万人、固定資産は 1.15 億元、年産額は 27.14 億元、年間利益は 4.39 億元である。環境保護技術開発、工程設計施工、環境保護コンサルテイングサービスと環境保護産品販売営業などの環境保護産業サービス体系中で、関連企・事業数は 3,401 社、

職工は83.38 万人、固定資産総額は 141.37 億元、年間利益は 8.306 億元である。環境保護製品の生産と三廃総合利用は環境保護産業の主体となるものである。

環境保護産業中、国有経済単位は 3,440 社で、職工は 125.90 万人、固定資産総額は 318.91 億元、年産額は 118.80 億元、年間利益は 19.84 億元である。集体経済単位は 4,233 社で、職工は 50.93 万人、固定資産総額は 88.37 億元、年産額は 150.80 億元、年間利益は 16.50 億元である。その他の経済類型（私営、連合経営、株式、外資、港澳台などの経済類型）単位数は 978 社で、職工は 11.37 万人、固定資産総額は 42.83 億元、年産額は 41.88 億元、年間利益は 4.57 億元である。

環境保護産業中、県レベル超の単位数は 3,101 社で、職工は 120.97 万人、年産額は 110.94 億元、年間利益は 18.88 億元である。県レベル以下（含県）の単位数は 5,550 社で単位全体数の 64.2%を占め、職工は 67.23 万人、年産額は 200.54 億元、年間利益は 22.03 億元で、その中で郷鎮企業単位数は県レベル以下（含県）の単位総数の 64.3%を占める。

環境保護産業中で、固定資産が 1,500 万元以下の小型単位は 7,143 社で、環境保護企事業総数の 82.6% を占め、年産額は 193.57 億元、年間利益は 22.33 億元である。固定資産は 1500 万元から 5,000 万元の中型単位は 1130 社で、職工数は 50.81 万人、年産額は 79.22 億元、年間利益は 11.79 億元である。固定資産が 5,000 万元より大きい単位は 378 社で、職工数は 63.51 万人、年産額は 38.69 億元、年間利益は 6.79 億元である。

5.4. 中国の大気汚染関連資料

図 12.2～図 12.11、表 12.2～表 12.5 に中国の大気汚染に関する各種資料を示す。中国各所で見られる大気中への煤じん排出防止に対する政府の取組努力によりサイクロン、ろ過集じん装置（バグフィルター）、電気集じん機が徐々に普及してきている。すなわち、大型設備には国産電気集じん装置の設置も見られる様になる一方、国産ろ過集じん装置（バグフィルター）の生産も多くみられる。しかし、バグフィルターの材質等に関しては今後の一層の開発が待たれる。また、集じんの次の段階である二酸化硫黄の排ガスからの除去に関しては、いわゆる本格的な高効率の排煙脱硫の設備は少なく、廉価で稍効率の低い設備にするか、或いは高価で効率の高い設備の設置に進むかの選択が必要である。**写真 12.1** に国産集じん装置の例を示す。

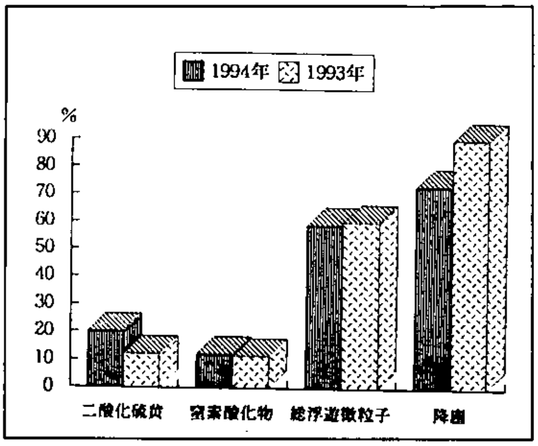


図12.2 大気汚染が基準値を越えている都市人口割合

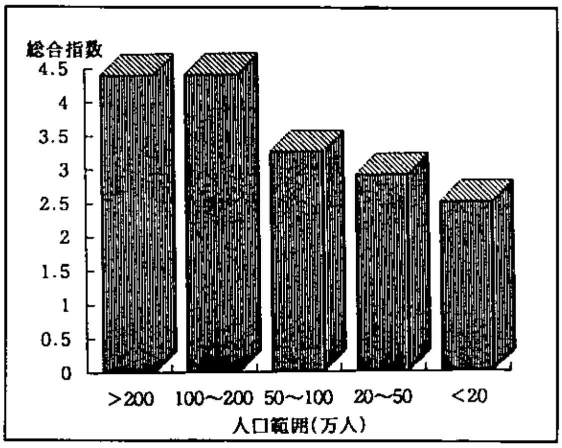


図12.3 人口規模都市別の大気汚染分類統計

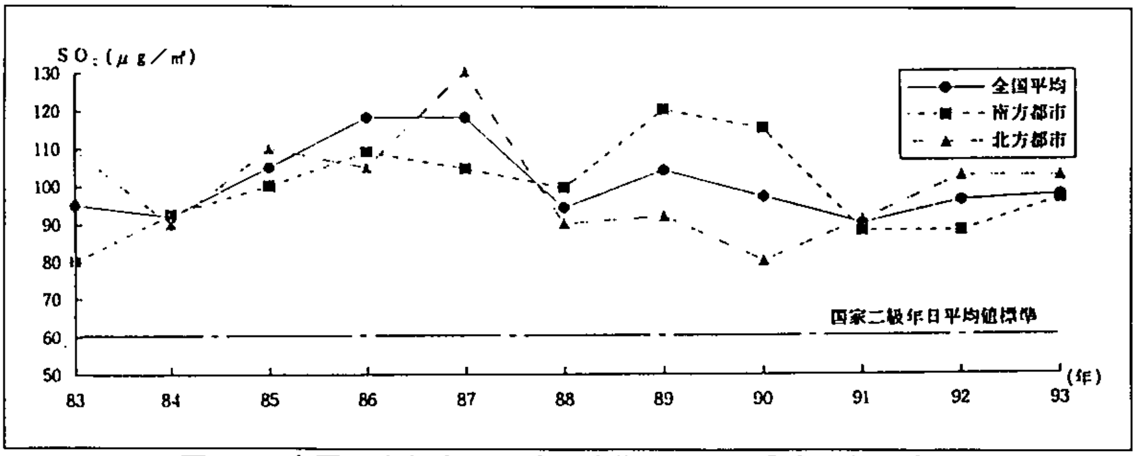


図 12.4 全国の大気中の二酸化硫黄の年平均濃度の年間変化

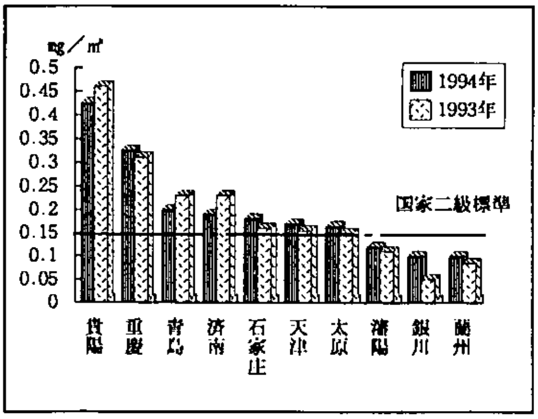


図 12.5 二酸化硫黄の年平均値比較図

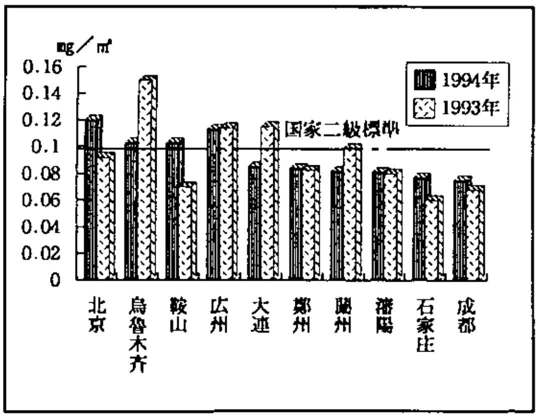


図 12.6 窒素酸化物の年平均値比較

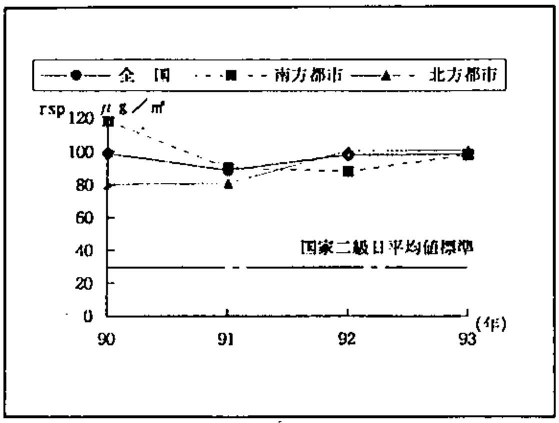


図 12.7 全国の大気中の微粒子年間平均値の年間比較

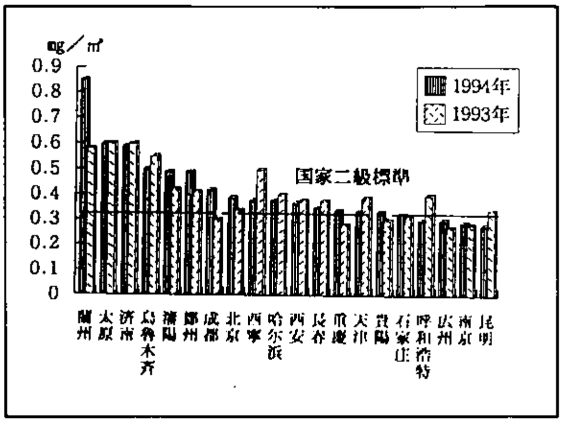


図 12.8 総浮遊微粒子年平均値の比較

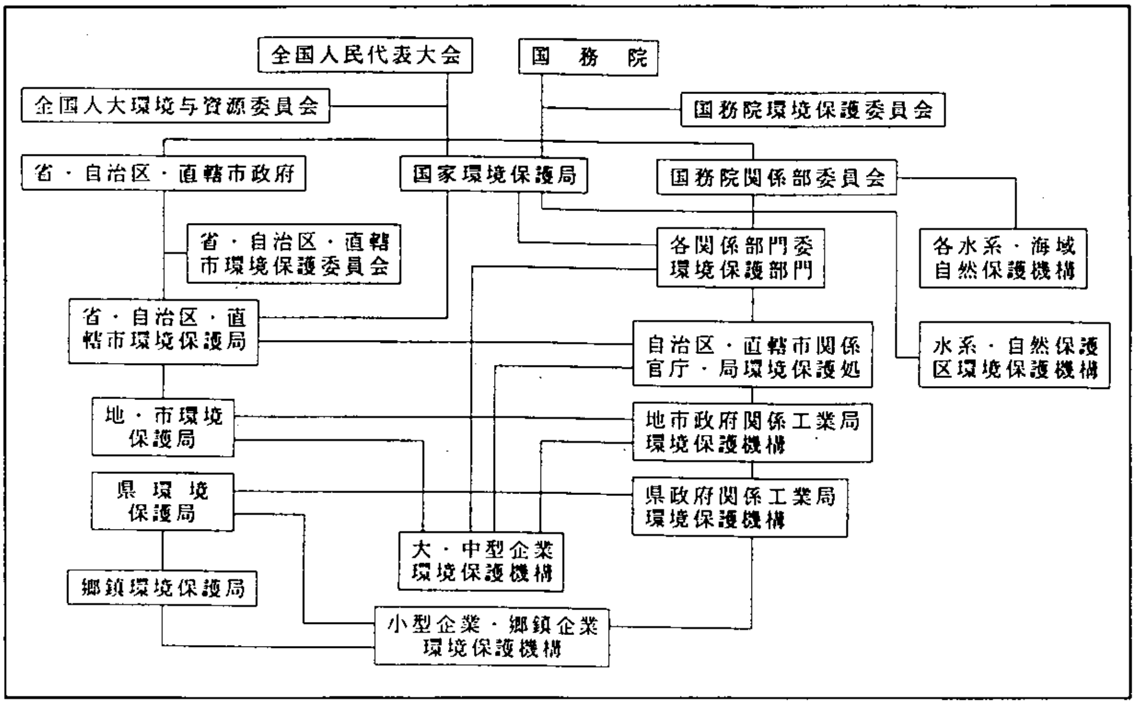
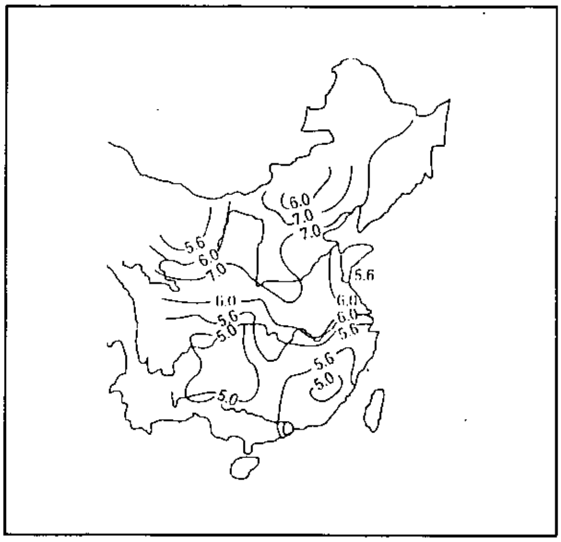
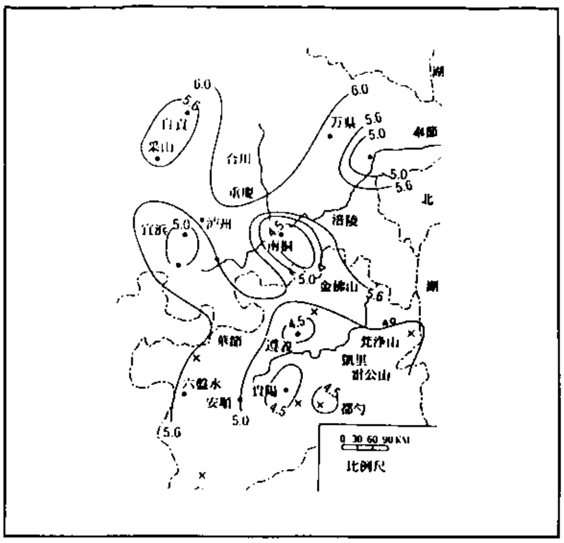


図 12.9 中国環境保護管理体系図



（降水 pH 值分布）

図 12. 10 中国大陸の酸性雨の
地理的分布状況



（降水 pH 值分布）

図 12. 11 中国西南地区酸性雨の
地理的分布状況

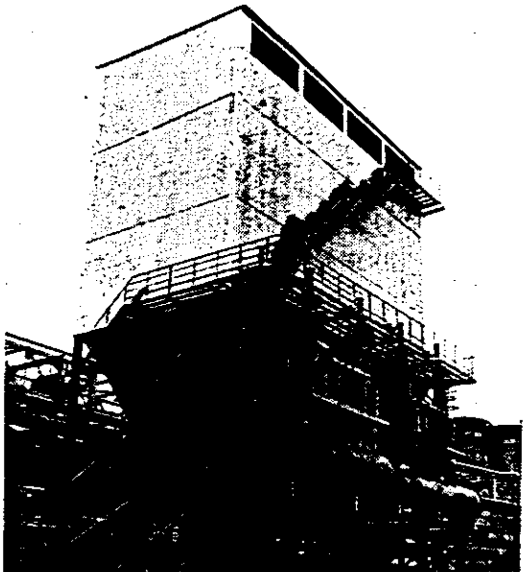


写真12. 1 ろ過集じん装置（バグフィルター）

表12. 2 中華人民共和国国家標準 大気環境基準

GB3095-82

汚染物名称	濃度限値 : mg/Nm³			
	採取時間	一級標準	二級標準	三級標準
総浮遊微粒子	日平均 *	0. 15	0. 30	0. 50
	任何一次 **	0. 30	1. 00	1. 50
浮遊微粒子	日平均	0. 05	0. 15	0. 25
	任何一次	0. 15	0. 50	0. 70
二酸化硫黄	年日平均 ***	0. 02	0. 06	0. 10
	日平均	0. 05	0. 15	0. 25
	任何一次	0. 15	0. 50	0. 70
窒素酸化物	日平均	0. 05	0. 10	0. 15
	任何一次	0. 10	0. 15	0. 30
一酸化炭素	日平均	4. 00	4. 00	6. 00
	任何一次	10. 00	10. 00	20. 00
光化学酸化剤(O_3)	1時間平均	0. 12	0. 16	0. 20

注：* "日平均" は如何なる一日の平均濃度も超過してはならない数値
** "任何一次" は如何なる一回の測定も超過してはならない濃度限界値で、異なる汚染物の如何なる一回の資料採取時間は関係規定参照
*** "年日平均" は如何なる一年の日平均濃度平均値が超過してはならない限界値

表 12.3 1990 年の石炭燃料二酸化硫黄の排放量

部　門	石炭消費量 (Mt)	二酸化硫排放量 (Mt)	割　合 (%)
発電所	265.04	4.13	28.94
工業ボイラー	335.09	5.36	34.40
民　用	167.00	1.67	10.72
その他	288.20	4.04	25.94
総　計	1,055.23	15.58	100.00

資料出所：中国エネルギー戦略研究所環境分報告

出典：中国エネルギー戦略研究所環境分報告書

表 12.4 山東XI坊、広西南寧、四川長寿化工 脱硫装置元

	濰坊 設計値	濰坊 実際値	南寧 設計値	南寧 実際値	長寿 設計値	長寿 実際値
ボイラー負荷	100%	100%	100%	100%	100%	100%
脱硫装置入口排ガス流量 (Nm³/h)	50.000	93.000	50.000	471.000	61.000	61.782
温　度 (℃)	68	66	59～70	59～65	120	100
煙塵濃度 (mg/Nm³)	148	189	920	715	500	
圧　力 (mmH₂O)	80	23	常　圧	常　圧		
SO_2 濃度 (ppm)	1.500	1.050	2.120	2.761	2.000	2.410
脱硫装置出口排ガス流量 (Nm³/h)	103.255	96.500	46.136	44.000	61.000	64.717
温　度 (℃)	51.8	41	50～60	45.5	100	
煙塵濃度 (mg/Nm³)	74	80	< 250	< 67.7	未設定	
圧　力 (mmH₂O)	0	-18	0	0	0	
SO_2 濃度 (ppm)	> 450	185	636	522	600	490
副生石膏含水率 (%)			< 13	12～15	< 30	< 24
脱硫率 (%)	> 70	82.4	> 70	> 80	> 70	79.6

表 12.5 大気汚染処理設備関連企業一覧

企業名称	製品	設備注
北京康羅努斯塗装設備有限公司	噴霧塗装廃ガス回収装置	
北京西山除塵器廠	XD型多管サイクロン集塵器 XSC脱硫集塵器 ZC回転逆風袋集塵器 MCパルス集塵器 各種集塵器系列製品	
北京市環境保護機械廠	逆風、回転、パルス袋集塵器	大型布袋集塵濾過面積1.82㎡まで
上海冶金鉱山機械廠	電気集塵器	
上海炭素廠環境保護服務部	袋式集塵器、濾過袋装備 袋式集塵器配列	
天津市通風除塵設備廠	布袋集塵器、集塵器系列	XZD/GZ型サイクロン集塵器 1989年国家級賞受賞
哈尔濱環境保護水泵製造設備工業公司	機械集塵器、電気集塵設備	内LDBX/1系列は1989年国家環境保護局の優秀製品評価受。 HJL系列の袋集塵器の集塵率は99.91%、抵抗値は1470Pa。 HJD系列の電気集塵器の集塵率は99%、抵抗値は<295Pa。
鞍山市高圧静電収塵器廠	高圧静電集塵器	
撫順市産業用布廠	常温防高温、防静電、濾布類	本廠生産のZLN-P濾布、ZLN-D濾布は1990年の部優秀品
大連陶瓷環保設備研究所	99高効陶瓷多管集塵器	
鞍山市通風除塵設備廠	静電、袋式、旋風、湿式集塵器	本廠鋼鉄製DC(GS)型電気集塵器は90年の部の優秀製品
臨沂型節能環境保護設備廠	螺旋式ボイラー排ガス浄化器 SC系列ベンチュリーボイラー排ガス浄化器	89年国家特許取得、環境保護局推挙国家科学委員会1990年普及項目推挙

6. 技術移転事例と導入の目的

わが国の排煙脱硫技術と設備は完成に近いものであり、発電所向けの湿式石灰石膏法等に関しては、その経済性や脱硫率を考えるとそれ以外の方法はあまり無いと思われる。一方、中小規模の燃焼排ガスの脱硫に関しては、中国が今まで行ってきた路線の研究の理解と改善に対し比較検討を示すことが必要である。最近の事情を知っている人は評価に理解を示す場合もあるが、経済的な見積や比較が出来る資料・情報も少ない場合が多いため、我々もプラントの価格の提示に際しては、同国の事情を真剣に考えると容易に返事のできない場合が多い。

脱硫率は高い方が当然好ましいが設備の初期投資額は高額となるため、脱硫率を低下させてもやらないよりは良いとの考えもある。我が国での排煙脱硫装置は湿式法が大部分であるのに対し、中国では5～ 35 トン以下のボイラーが多く、第七次五ケ年計画当時から進めてきた燃料石炭の各種改善法、炉内脱硫、乾式・半乾式法など、我が国では今迄行われて来ていなかった総合的な脱硫法に対し、我々もその理解と改善への努力が必要と考える。経済性を含めた万能な脱硫プロセスは無いわけだから、石炭の種類、燃焼機器をはじめその規模に応じたプロセスの選定が必要となる。

相手国側では、機器などで高価なものであれば使えようが使えまいが、経済援助などの手段で入手できれば手柄となり組織の評価が得られるため、日本側が中国の現状を見て過去に使ってきた方法など提示すると、自分らを馬鹿にした旧式な技術であるといった感触を持たれ、もっと最先端の機器や情報を求める場合も往々にして見受けられる。これらの場合に相手の求めているものの正確な理解と、相手の水準に応じた提示が必要であり、考え方の段階や経緯を系統立てた理論と実例の提示を欠かすことはできない。此の場合、通訳も一般の通訳でなく技術の理解者であることが望ましい。

人材の育成には、日本に招へいした各種専門分野の人々の国内での現場実習を通じ、彼等の帰国後の長い期間を踏まえた人脈の育成が重要である。

石炭は中国各地において大炭田から小規模炭田での産出がみられる。また産地によって炭質や灰分、硫黄分が異なることは言うまでもない。また良質炭は外貨獲得のため輸出に宛てられ、国内で低品位炭の使用が行われる傾向があり、また各種の目標達成に質より量を重んじるといった感覚が見られることから、多くの不純物を含む原炭が鉄道輸送で送られ、これらが国全体としての省資源・省エネルギー面で低効率となっている一因であるこ

とが最近中国各方面でも指摘される。品質管理に力が入れられる機運にあるが、これらの改善もユーザーのみの問題でなく、国家或いは省・市レベルでの問題対応が必要である。

これら傾向は、従来買い手についても同様であるため、一定の品質、納期の石炭の確保が難しいという実態である。その結果、燃焼装置の設計仕様と実際操業との相違から、石炭の燃焼は燃焼機構、効率、排出物などに影響し、環境面へのしわ寄せの一因となっている。これらの要因としては、このような実態を中国側においては当然のこととの受けとっているため、日本側との話合いにおいて齟齬を来すこととなり、その責任や改善の進め方は単に技術のみの問題ではなくなる。また大型国営発電所から営業用小型石炭燃焼装置に至る設備は、当然その規模に応じても環境問題への設備の対応が異なる。

一つの事例として脱硫率と設備の初期投資額の問題をみると、目先では各基準を満たす低い脱硫率で高価な初期投資額を低減しようとする傾向が考えられる。すなわち現時点では発電所規模の大型設備を除いては我が国で採用されている 95%程度の脱硫率の湿式石灰石膏法の設備は適用が難しく、原料炭の改質や燃焼設備、炉内脱硫から低脱硫(80-50% 程度) 簡易排煙脱硫法などを組合せる方向への動向がみられる。これらは将来経済発展に伴う競争原理の進展と規制対策により、設備対応方法の変化も見られるようになろうと考えられるが、長期使用を前提とした高価な設備を選定するか否かは、最初の段階における重要な決断であることは言うまでもない。

一般に工業装置において計測設備は少ない。これは、機器や設備の周辺部品や補助機器の製品不足や入手困難な事情によるものであり、我が国との大きな相違点である。一方、最近は大手計器メーカーの営業活動の展開がこれら市場に向けて進みはじめているが、計器制御による省資源・省エネルギー、省力化を含む原価計算に対する相手側の認識が向上することが必要である。その場合には一般論だけでなく、中国の各現地における各種価格の把握が必要となり、これらも現地事情の理解を必要とする点である。我が国のユーザーにおいては購入品位の管理に重要が置かれているため、一部に微粉炭や COM.CWM 法等は行われているのに対し、石炭の品位改質を目的とした成型炭への加工は少ない。中国では、石炭の粉砕から灰分或いは硫黄分を除いたものの成型への研究が進められている。

成型法については従来低圧式であったが、我が国の高圧力による成型技術に対する評価は高い。これら相互のニーズの発掘には様々な経緯があろうと思われるが、これら成型を山元でするか、消費地のセンターでするか、ユーザーでするかはケースバイケースで検討すべきである。

大気に放出される二酸化硫黄量と酸性雨の問題は、四川、貴州などに多く東北や北京に

少ない。その発生源と発生メカニズムの解析には長期の詳細な計測と解析が必要で、観測網と測定器具の充実、技術者養成の他 RAINS ASIA のようなソフトの開発も前提となる。

大気の汚染源としては今後増加が見込まれる自動車の排ガスの問題もあり、これらは先ず燃料から、エンジンの構造、整備技術、車検などの広範囲な行政対応が必要となる。

大気汚染対策はばいじんの補集が先ず第一段階として行われ、ろ過集じん装置（バグフィルター）、電気集じん装置が普及しつつある。また、ばいじん発生プロセスや装置規模に応じて各種乾式、湿式集じん装置が開発されてきている。これら多くの種類の機種やプロセスは、その用途、規模、効率、価格に応じて、将来を考えた正確な選定がされることが望ましい。現在は大気へのばいじんの補集から二酸化硫黄の処理への移行段階であるが、今後は世界で進みつつある窒素酸化物及び二酸化炭素問題への対応の考慮がされなければならない。

7. 技術移転事例と導入方法、課題

大気汚染防止対策は、上記の如くその規模により政府間協力による大型設備の案件から、民間企業間の商業ベース案件、或いは個人的な技術指導案件に至る様々な官・学・産分野での対応がある。そこには人材の育成も重要な問題であり、技術の習得のためには理論の学習から実際に稼働中の設備の実例などを通じた実習などが最も効果的な方法といえる。また指導する側においても、相手の環境や技術水準に合わせた現状や問題点の正確な把握が必要であり、この点からも長期の交流が必要である

中国での石炭燃焼への対応としては、発電所規模の大型設備、中小型ボイラー規模のものから家庭における厨暖房規模のものに至る燃焼排ガスの処理が必要である。発電所規模の設備に関するものは、発電設備に付随する大気汚染防止設備の一式受注にわが国ならびに欧米企業も努力する一方、中国においても世界各国の排煙脱硫処理プロセスの評価ができる資料も揃いつつあり、発電設備とは切り離した発注がみられる。これらの装置の仕様や取合問題に的確に対処するには慎重な仕様書と契約が必要である。

世界の大型排煙脱硫プロセスの主流は石灰石膏法が主流で、わが国のプロセスへの評価は高いが、中国にとって高額な装置であり、中国企業の設備購入に当たって大きな障壁となっているため、中国への進出を図る各国の様々な資金調達法に関連する対応が必要である。

現在、我が国国家の各海外援助機関によるプロジェクトが中国の大気汚染防止分野にも

みられ、これら機関を通じてわが国を代表する大型企業の中国への技術・設備の供与がみられる。また同業務には中国における現地製作材料、機器、建設業務の占める割合の増加を目指した協力推進がみられる。

一方大気汚染防止対策には、これら大型装置の建設、機器の製作のみでなく、法規の策定から測定法、技術者の育成、電子計算機の利用など、汚染防止対策への直接間接の広範囲な協力業務がある。これらの協力は中国の官産学にわたるもので、大学における環境関連研究室にも欧米の各種団体などによるアセスメント実施業務やフィージビリティースタディーの共同実施をはじめとする各種資料がみられたり、講義、現場指導も多い。

東洋人一般の欧米崇拝の傾向は中国でも見られるものの、情報の拡大による技術評価水準の向上は十分みられる。しかし中国にとって最も重要な資金の問題は、大型設備などには世界銀行に代表される借款などを通じての設備導入もみられ、金融機関への依存が大きい。また大気環境の測定及び解析に関する電子計算機ソフトなどは、酸性雨の解析ソフトなど基本システムの確立、装置の制御技術などに伴う市場の確保や、基礎分野の売り込みによる市場の獲得戦略などが海外企業によって進められている。

一般に中国国内の情報不足について、技術協力先などの経緯の詳細が国内関係先であまり知られていない場合も多く、今までは海外情報は少ない情況であった。また、中国においては外国から指導を受ける立場よりも、共同研究であるとする表現が応々にして見られ、長期間の運転結果から相互の確認を行うといった成果の形式が採用される場合が多い。

大気汚染防止分野での海外企業との合弁企業も多く発足しているが、これらは各種集じん装置やファンやバグフィルター、化学機械類などが多く、わが国をはじめ米独仏や台湾・韓国などとの合弁企業が将来の有望分野として多くの設立・営業がみられる。

中国では大型設備の設計仕様の決定に当たって海外先進技術への依存が必要であるが、これらが定まれば自国での詳細設計、製作、建設への能力は増えてきている。

わが国からは商社をはじめ大手企業の北京・上海・大連・青島などへの出張所の開設が見られる一方、欧米をはじめ台湾・韓国の企業の出張所の開設もみられ、その規模に応じた製品の販売ならびに情報の収集が行われている。

一方、人脈に依存することの多い中国社会では、この種の問題への対応が重要である。

8. 当該技術の関係情報源一覧

我が国から中国への大気汚染防止技術の移転は、上記の如く大きく分けて政府の様々な機関による技術移転の実施と、民間企業による中国の国営研究機関や企業などへの技術供

与をはじめ、コマーシャルベースでの技術や設備の移転・販売がみられる。

これら移転に当たっては人材の育成を目指した留学生の受入れ、国内での実機、実装置による実習、現地での各種技術の指導から共同の設計、エンジニアリング業務など多方面での協力、移転の遂行がみられる。

関係情報源については、中国統計年鑑、中国環境年鑑、石炭資料類、大気汚染対策などの資料がある。また近日、環境保護局の王氏著「中国の大気汚染対策」が小職翻訳監修により重化学工業社出版されたので参考になると思われる。

参考文献

1) 中国環境年鑑　中国環境年間社，北京（1994）
2) 中国統計年鑑　中国統計出版社，北京（1994）
3) 中国強制性国家標準 環境保護編 中国標準出版社，北京（1993）
4) 中国工業経済計画年鑑 中国経済管理出版社，北京（1993）
5) 中国の大気汚染と防止対策 重化学工業社
中国国家環境保護局局長兼顧問 王漢臣　翻訳 播磨
6) 平成7年度環境庁委託「開発途上国における大気汚染防止にかかる固定発生源対策事業」報告書（社）海外環境協力センター（平成8年3月）
7) 発展途上国エネルギー、環境国際協力に係わる途上国基礎データの収集調査
新エネルギー、産業技術総合開機構（平成5年3月）

XII. 自動車排ガス測定技術の移転

■1994. 10, 中国, 日中友好環境保全管理センター, 短期派遣

斉藤敬三

1. 技術概要

中華人民共和国（以下中国）における今日の急激な経済成長とこれに伴う産業及び交通・運輸業の急速な発展の結果、我が国における高度経済成長期にそうであったのと同様に中国でも自動車排ガスによる大気汚染等の都市型公害あるいは環境汚染問題が顕在化しつつあり、その状況は極めて深刻な社会問題となってきている。特に、大都市域における交通量の急激な増加は、主要交通道路域周辺で大気汚染物濃度が高くなるなど都市環境悪化の主要な原因の一つとなっている。

このため、中国においても自動車排ガスに対する有効な規制、対策の早期実施が切望されるとともに、それら対策技術ならびに関連する排ガスの測定・評価技術の研究が重要視されるようになってきた。一方、日中平和友好条約 10 周年記念事業の一環として建設された日中友好環境保全センターにおける中国人カウンターパートの育成や、その活動に必要な知識・技術等の習得に関わる技術移転の必要性が俄にその重要度を増してきている状況にもある。

上記の理由から、本編では筆者が「自動車排ガス汚染防止技術に関わる技術指導」の課題により中国へ短期専門家として派遣されたときの経験をもとに、自動車排ガス規制の実施あるいは対策技術の研究を行う上で必須となる「自動車排ガス測定技術」を中国あるいはその他の国へ移転する際に参考となる事項を記述するとともに、各国規制の経緯や試験法の相違などについて言及した。

2. 導入目的

中国内の自動車排ガスによる大気汚染問題の解決に向けては、自動車排ガス対策技術に関する研究促進はもとより、行政施策や関連技術プロジェクトの推進等をプロモートすることの出来る人材の養成が必要とされている。

当該技術指導はこのような背景から実施されたもので、自動車排ガス汚染防止技術に関わる広範な技術情報の紹介と排ガス測定技術の指導を行うことにより、中国人カウンターパートの育成とその活動に必要な技術の習得を図るとともに、中国内における汚染公害防止技術の研究開発を側面から支援することを目的としている。

3. 導入方法（技術移転する際の注意事項、ツボ、コツ、失敗談等）

3.1 短期専門家派遣

1988年の日中平和友好条約10周年記念事業として我が国ODAにより建設された日中友好環境保全センターにおいては、自動車排ガス汚染防止に関する技術分野の中国人カウンターパートを育成し、その活動に必要な技術の習得を支援する目的で1994年10月に短期専門家の派遣による技術指導が実施された。

期間は2週間と比較的短期であったが、主に日本をはじめとする先進各国の技術紹介や解説など専ら集中的な講義を行うことで終始した。講義時間は午前2時間、午後2時間で、中国人通訳を付けてほぼ連日行われた。

3.2 講義内容

講義内容としては、本技術指導の主題である「自動車排ガス汚染防止技術」に関し、まず初めに排ガス規制の概要、ならびに日本、米国及び欧州における規制の経緯及び動向について紹介した。次いで、自動車排ガスの基本的な計測法について解説するとともに、各種排出ガス対策等の内容について先端的な技術の紹介を行った。また、今後の中国においても急激な普及、増加が予想されるディーゼル自動車の排気対策に関し、ディーゼル排気中粒子状物質の測定法ならびに排気浄化技術について指導を行った。さらに、天然ガス、メタノール燃料などの代替燃料機関の運転特性等について解説するとともに、低公害、省エネルギー、低CO_2機関に関する先進諸国の最新技術情報の紹介を行った。

その他、我が国自動車工業の発展過程を示す統計資料等を用いて、日本における自動車工業の歴史、現況及び将来動向について解説した。また、筆者の所属する機械技術研究所の概要を紹介するとともに研究課題の提案から選定、評価等の一連のプロセスを解説するなど研究管理の方法についても解説を行った。

3.3 留意事項など

講義に使う教材として事前に中国語資料（英文資料でも良い）を作成しておくことが望ましかった。また、ビデオ等マルチメディアの利用は例え日本語の内容であったとしても、相手側の理解を助ける上で非常に有効な手段であり更なる活用が望まれた。なお、環境科学院の所有する研究設備は一部老朽化の著しいものもあるが、先進諸国との技術交流も盛んで、日、米、欧等からの新たな設備導入も積極的に進められており、純技術的（現場的）指導の必要性も痛感した。

4. 成果、問題と課題（当該技術移転の評価、問題確認、今後の課題等）

今回の技術指導は、中国内における汚染公害防止技術の研究開発を側面から支援することを目的としたもので、その要請内容ならびに業務計画などは真に時宜を得たものであった。今後は、中国でもディーゼル自動車の急激な増加が予想されるが、その排気浄化対策は先進各国においても早期解決の極めて困難な課題の一つとなっていることを考えれば、問題解決に向けて引き続き日中の協力関係を強化していくことが肝要と思われた。また、本分野の技術には複雑かつ高度で内容も多岐にわたるものが多く含まれるため、それら技術の習得には多くの研究者が様々な研究機関と継続的に技術交流を続けて行く必要がある。一方、我が国からの専門家派遣についても、派遣期間に柔軟性を持たせるなど、より多くの専門家を派遣する工夫が必要であると思われる。

本技術指導は前記一連の技術移転を行う研究交流活動の端緒を開いたものではあるが、当該技術移転プロジェクトに対してはその一部を遂行しただけのものであり、今回の経験を基に更に密度の高い技術指導を続ける必要がある。また、短期専門家が限られた日数でその目的を完遂するのは事実上不可能に近く、より効率的には被指導側である中国人研究員が比較的長期に日本あるいは先進各国に滞在し、様々な機関において種々技術項目についての研修を行うことが望ましい。

5. 日本の技術とその他の国の技術の相違（途上国自身で規定された技術手法は？欧米先進国の技術移転ではどのような手法か？日本との違いは？途上国側の受け入れ方は？）

5.1 米国における自動車排ガス規制の経緯

米国自動車排ガス規制の歴史は、カリフォルニア州における自動車汚染防止法の制定（1960年）に始まり、1965年の大気浄化法の改訂、1970年大気浄化法（マスキー法）の成立、そして今日の大気公害基本法である1977年大気浄化法へと続く。1990年には自動車排出ガスの90%以上の削減をねらいとして、13年振りに大気浄化法が改正され今日に至っている。

<u>排出ガス試験法</u>

米国における排出ガス試験法は米国環境保護庁（EPA: Environmental Protection Agency)

が規定した「連邦テスト法」（FTP: Federal Test Procedure）によっており、以下に示すものがある。

LA4－CHモード：朝の出勤時間帯における交通流（走行状態）を模擬したエンジンのコールドスタートを走行パターンとして想定した走行モードで、1975年にはホットスタートが追加されている。(**図14.1**)ハイウェーモード：典型的なハイウェー走行を模擬し燃費測定モードとして1977年に制定されたもので、カルフォルニア州ではNOx規制の試験モードとしても採用されている。燃料蒸発ガス規制：気温の上昇や走行後の燃料系の昇温あるいは駐車中に大気に放出される燃料蒸発ガスを計測するための試験法。過渡モード：車両総重量8,500ポンド（3.86t）以上の重量ガソリン車及びディーゼル車の排出ガス試験法で過渡モードのみから成る。

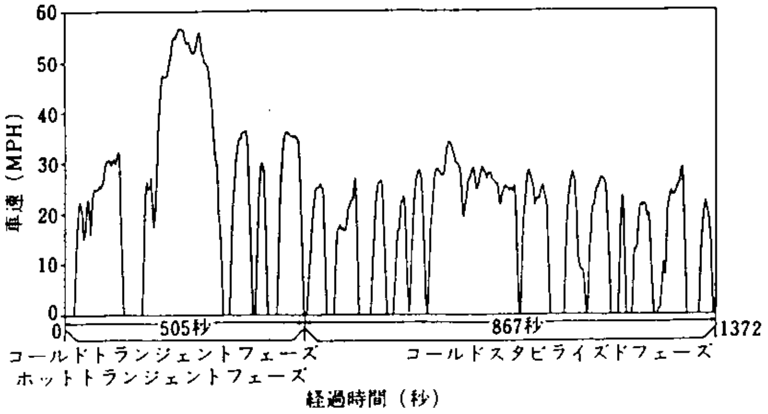


図14.1 LA#4モード走行パターン

5.2 日本における自動車排ガス規制の経緯

わが国では、これまでにガソリン車の排出ガス中に含まれるCO濃度を3%以下に抑える「41年規制」、HC、NOx規制のほかブローバイガス及び蒸発ガスを規制に加えた「48年規制」、世界で最も厳しいとされている「53年規制」、ディーゼル車規制を対象とした「54年規制」、ディーゼル車のNOx規制を対象とした「57年規制」及び「58年規制」、ディーゼル乗用車を対象とした「61年規制（手動変速機）」及び「62年規制（手動変速機以外）」、バス、トラック等のNOx規制を強化した「63年規制」（1.7トン以下）及び「64年規制」（1.7トン以上）など逐次規制強化がなされてきている。(**図14.2**)さらに、1991年には環境庁は中央公害審議会の答申を受け、短期及び長期目標に沿った「自動車排出ガスの量の許容限度」の改正を行っている。(**表14.1**)

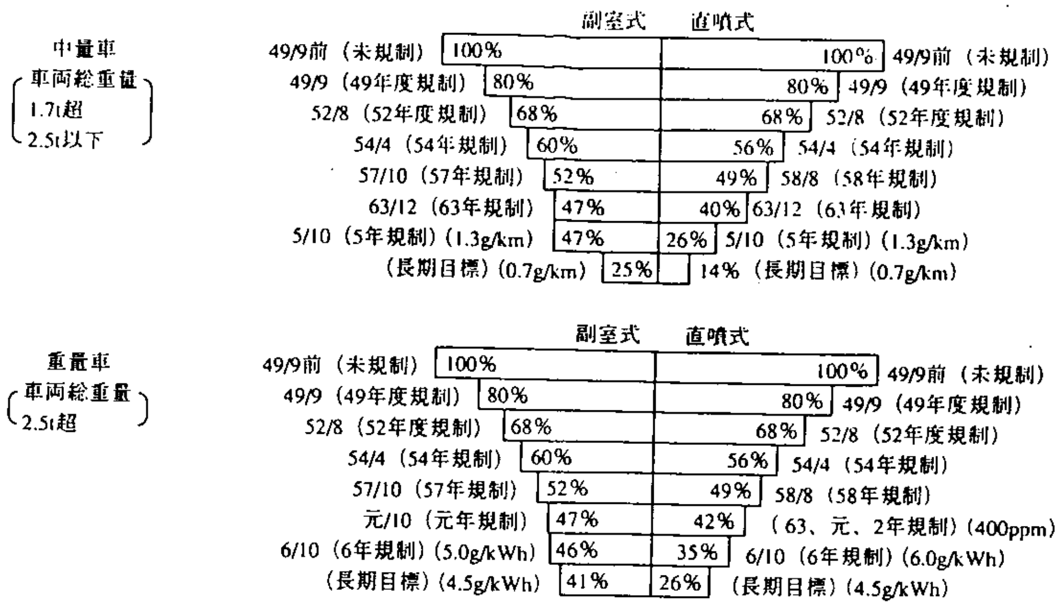


図 14.2 ディーゼルトラック・バスの NO_x 排出量（平均値）低減効果の推移

表 14.1 中央公害対策審議会答申（平成元年 12 月）による自動車排出ガス低減目標値

車種区分			排出ガスの種類		現行規制 平均値	現行規制 施行年	モード 新測定	短期目標 目標値	短期目標 施行年	短期目標 削減率	長期目標 目標値	長期目標 削減率
ディーゼル	トラック・バス	軽量車 (GVW1.7t以下)	窒素酸化物 (NOx)		0.9g/km	昭和63年	新10モード	0.6g/km	平成5年	△33%	0.4g/km	△56%
			粒子状物質 (PM)		———			0.2g/km		———	0.08g/km	△60%
		中量車 (1.7t<GVW≦2.5t以下)	NOx	直噴式	380ppm	昭和63年	新10モード	1.3g/km	平成5年	△35%	0.7g/km	△65%
				副室式	260ppm	昭和63年				0%		△46%
			粒子状物質 (PM)		———			0.25g/km		———	0.09g/km	△64%
		重量車 (GVW2.5t超)	NOx	直噴式	400ppm	平成元年	ディーゼル13モード	6.0g/kWh (4.41g/PSh)	平成6年	△17%	4.5g/kWh (3.31g/PSh)	△38%
				副室式	260ppm	平成元年		5.0g/kWh (3.68g/PSh)		△2%		△12%
			粒子状物質 (PM)		———			0.7g/kWh (0.51g/PSh)		———	0.25g/kW (0.18g/PSh)	△64%
	乗用車		NOx	EIW≦1.25t	0.7g/km	昭和61年（手動変速機付車） 昭和62年（自動変速機付車）	新10モード	(0.5g/km)	(平成2年)	(△29%	0.4g/km	△43%
				EIW>1.25t	0.9g/km	昭和61年（手動変速機付車） 昭和62年（自動変速機付車）		(0.6g/km)	(平成4年)	(△33%		△56%
			粒子状物質 (PM)		———			0.2g/km	平成6年	———	0.08g/km	△60%
	全車種		黒煙 (3モード)		50%	昭和47年	3モード	40%	PMと同じ	△20%	25%	△50%
ガソリン	トラック・バス	中量車 (GVW1.7超 2.5t以下)	NOx		0.7g/km	平成元年	新10モード	———	———	———	0.4g/km	△43%
		重量車(GVW 2.5t 超)	NOx		650ppm	平成元年	ガソリン13モード	5.5g/kWh (4.05g/PSh)	平成4年	△19%	4.5g/kWh (3.31g/PSh)	△34%

注 1) ディーゼル乗用車の短期目標値は、既に昭和63年12月に告示済みのものであり、今回答申がおこなわれたものではない。
2) GVW…車両総重量　　EIW…等価慣性重量（人間2人が乗ったと仮定した場合の車の総重量で、車両重量に110キログラムを加えたもの。）
3) 窒素酸化物の削減率は、短期目標値、長期目標値ともに現行規制値に対するものであり、粒子状物質の長期目標値の削減率は短期目標値に対するものである。
4) 黒煙の現行規制値、短期及び長期目標値はいずれも平均値ではなく、最大値である。
5) 0.25g/kwh は0.18g/psh、0.7g/kwhは0.51g/psh、4.5g/kwhは3.31g/psh、5.0g/kwhは3.68g/psh、5.5g/kwhは4.05g/psh、6.0g/kwhは4.41g/psh に換算される。
6) 長期目標値は、できるだけ早期に、遅くとも10年以内に達成されるべきとされている。

排出ガス試験法

日本における排出ガス試験法は都市内の交通実態調査に基づいた試験法が規定されている。

アイドリング試験：10モード試験前に実施されるアイドリング時排ガス試験。10モード試験：都市内走行パターンを代表させた10種類の運転状態で構成される試験モード。10・15モード試験：10モード試験に都市内高速走行及びアイドリングを追加したもの。(**図14.3**)11モード試験：朝の冷間始動を含む郊外から都心へ向かう出勤状態を代表させた11のモードより構成される試験。6モード試験：重量車（車両総重量2.5トン以上）に採用される6つの独立した定常運転モードにより構成される試験。13モード試験：6モード試験をより実態に近い測定モードに改めたもの。燃料蒸発ガス試験：走行後に暖まった燃料タンク内の燃料から大気に放出される燃料蒸発ガスを計測する試験。排気煙濃度モード試験：ディーゼル車の排気煙濃度を計測する試験で3モード試験とフリーアクセル試験がある。

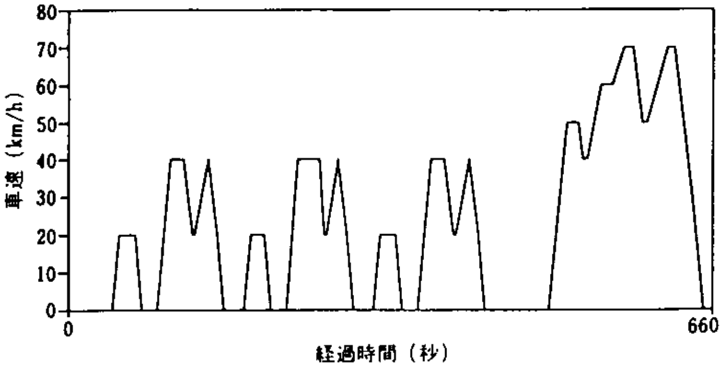


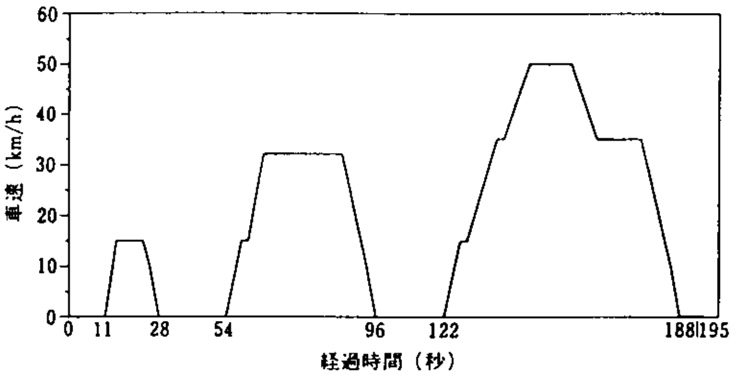
図14.3 新モード走行パターン

5.3 欧州等における排ガス規制の経緯

欧州等における排ガス規制の大きな動きとしては、1982年西独及びスイスがECE No.15-03から04シリーズに強化したのをはじめ、スウェーデンが1985年にF40規制をA10規制へ、またスイスも1983年からA10を採用するに至っている。その後、西独はUS83年規制を導入し、スイスは1986年にUS77年規制、1987年にUS83規制に強化している。そのほか、オーストリアでは1987年にUS83年規制に、スウェーデンも1989年にUS83年規制を実施している。EC統合後、排ガス規制は大幅に強化され、1.4L以上の乗用車にはUS83LDV相当規制が適用されるとともに、小型商用車についても引き続き規制の強化が検討されている。

排出ガス試験法

欧州における排出ガス試験法は、欧州経済委員会（ECE: Economic Commission for Europe）が規定した排出ガス規制「ECE No. 15」によっており、加盟国は共通の試験法を採用しているが、西独、スイス、オーストリア及びスウェーデンなど独自の試験法を採用している国もある。欧州統一の試験法としては、欧州の市街地走行パターンを代表させたECモード試験（ECE/EECモード）及び現在の交通実態を反映した試験モードに見直しがなされた新ECモード試験（91/441/EEC）などがある。（**図 14.4**）



ECモード走行パターン

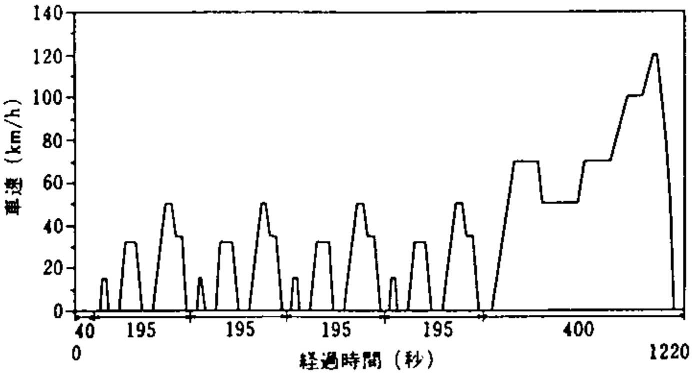


図 14.4 新ECモード走行パターン

6. 当該技術に関する関係情報源情報一覧（内外の参考書、大学、研究機関、メーカー等の当該技術に関して、困ったときに役に立ち、知っていて損はないような情源。）

6.1 主な情報入手先

・環境庁大気保全局自動車環境対策二課

・通産省工業技術院資源環境技術総合研究所大気圏環境保全部

・運輸省交通安全公害研究所交通公害部

・東京都環境科学研究所応用研究部

・石油産業活性化センター石油基盤技術研究所

・日本自動車研究所第一研究部

・自動車基準認証国際化研究センター（JASIC）

・運輸省自動車交通局技術安全部

・運輸省陸運局陸運事務所

6.2 参考となる主な関連法規等

・公害対策基本法

・大気汚染防止法

・道路運送車両法

・道路運送車両の保安基準

・新型自動車試験方法：略称トライアス（TRAIAS: Traffic safety and nuisance Research Institute's automobile type Approval test Standard）

・自動車公害規制の基本的法体系（図 14.5）

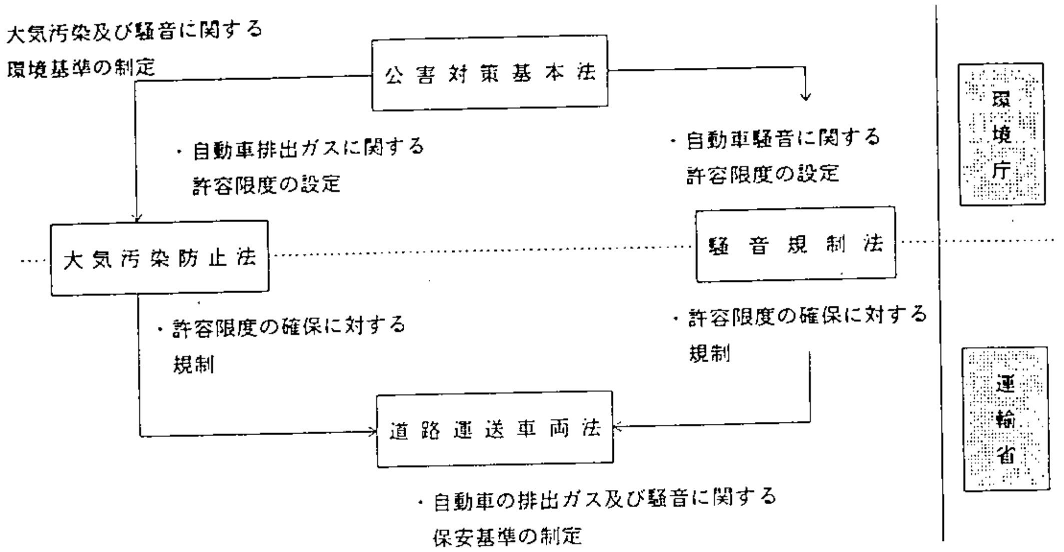


図 14.5 自動車公害規制の基本的法体系

6.3 参考資料（抜粋）

1. 自動車産業ハンドブック、1992／1993、（株）紀伊国屋書店

2. 新型自動車審査関係基準集、自動車認証制度研究会編、交文社

3. 自動車産業と環境対策、シーエムシー

4. 日本の自動車工業、89 年版、92 年版、94 年版、（社）日本自動車工業会

5. 自動車統計年報第 20 集、平成 4　年版、（社）日本自動車工業会

6. 自動車業の環境対策の現状と今後の課題

7. 小林伸治、自動車用ディーゼルエンジンの排気浄化、（社）自動車技術 No. 9403SYMPOSIUM、平成６年１月

8. 酒井宏、新世代ガソリン機関の展望、（社）自動車技術会、No. 9402 SYMPODIUM、平成６年１月

9. 小野洋、自動車をめぐる環境問題と規制の動向、（社）自動車技術会、No. 9402 SYMPOSIUM、平成６年１月

10. 斉藤、篠山、篠崎、ディーゼルエンジン微粒子トラップ材料の比較、平成５年度集中型移動研究室「メソポア材料の設計技術」、平成５年８月

11. （財）石油産業活性化センター、自動車排ガス分析システムに関する最新技術動向の調査報告書（平成４年度技術開発基盤等整備事業）、平成５年３月、

12. 斉藤敬三、ディーゼル排気微粒子の簡易・連続測定技術に関する研究、機械技術研究所報告第１５５号、平成３年１０月

13. 機械技術研究所要覧

14. 斉藤、紺谷、濱、大橋、代替燃料時運転特性の同一エンジンによる比較、（社）日本機会学会茨城講演会講演論文集、平成６年９月

6.4 自動車関係団体リスト

1. 軽自動車検査協会

   105 東京都港区虎ノ門 1-14-1 郵政互助会琴平ビル　tel 03-3502-4666

2. 社団法人 日本自動車工業会

   100 東京都千代田区大手町 1-6-1 大手町ビル　tel 03-3216-5781

3. 社団法人 日本自動車部品工業会

   108 東京都港区高輪 1-16-15　tel 03-3445-4211

4. 特別法人 日本自動車輸入組合

   102 東京都千代田区麹町 5-3 第 7 秋山ビル 4F　tel 03-3222-5421

5. 社団法人 日本自動車機械工具協会

160 東京都新宿区新宿 7-23-5 tel 03-3203-5131

6. 財団法人 自動車検査登録協力会

105 東京都千代田区虎ノ門 4-3-10 虎ノ門きよしビル tel 03-3432-5611

7. 社団法人 日本自動車車体工業会

100 東京都千代田区丸の内 2-2-1 tel 03-3213-2031

8. 社団法人 日本自動車タイヤ協会

105 東京都港区虎ノ門 1-1-12 虎ノ門ビル-9F tel 03-3503-0191

9. 社団法人 自動車技術会

102 東京都千代田区五番町 10-2 五番町センタービル tel 03-3262-8211

10. 社団法人 日本自動車研究所

305 茨城県つくば市苅間 2530 tel 0298-56-1111

11. 板硝子協会

100 東京都千代田区丸の内 3-3-1 tel 03-3212-8631

6.5 附録

1. 運輸省自動車関係組織図（**図 14.6**）
2. 環境庁自動車関係組織図（**図 14.7**）
3. 自動車の安全公害に係る制度の概要（**図 14.8**）

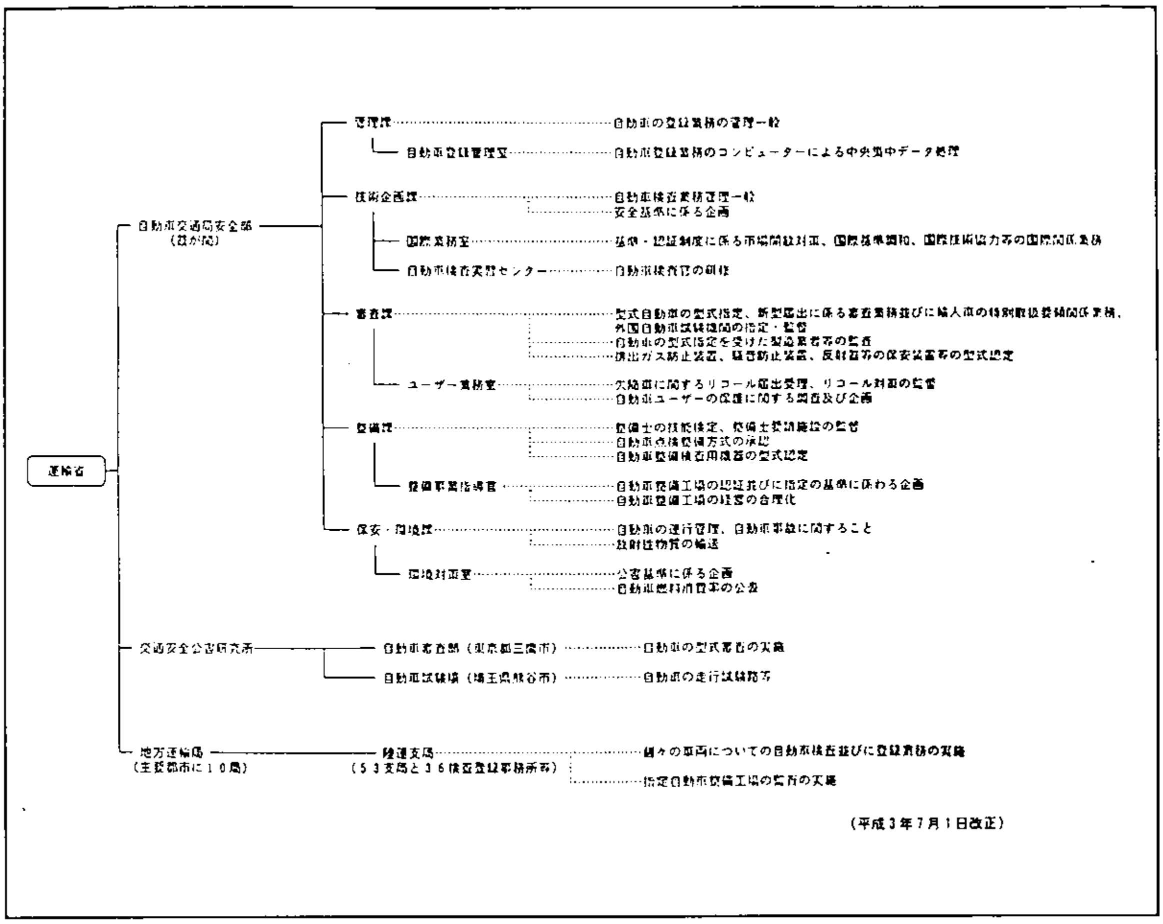


図 14.6 運輸省自動車関係組織図

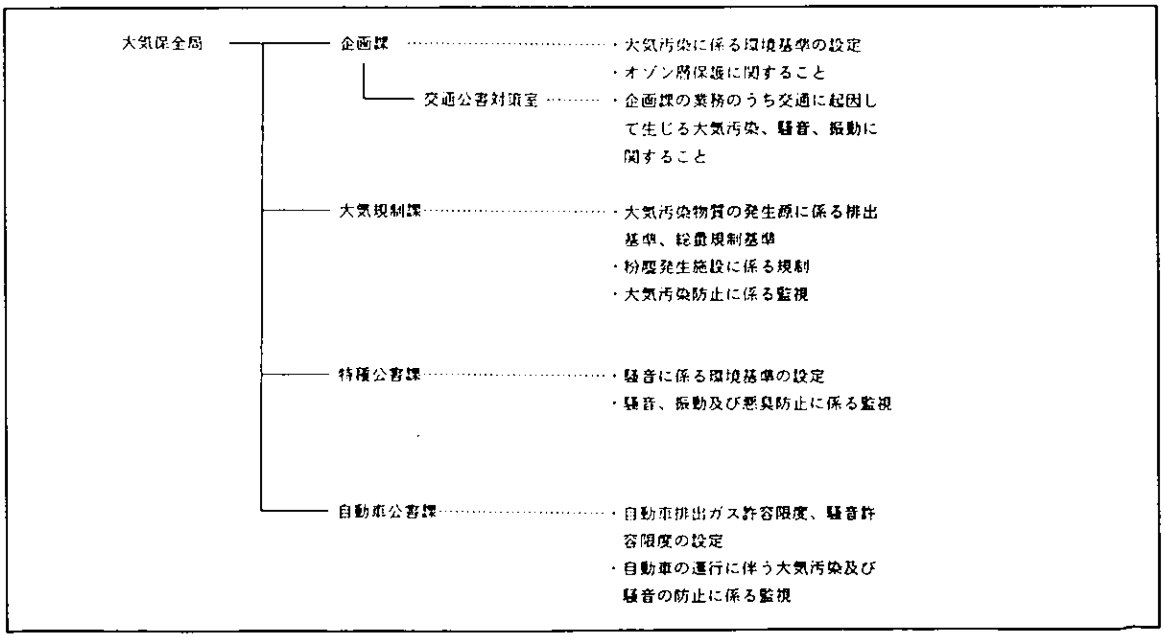


図 14.7 環境庁自動車関係組織図

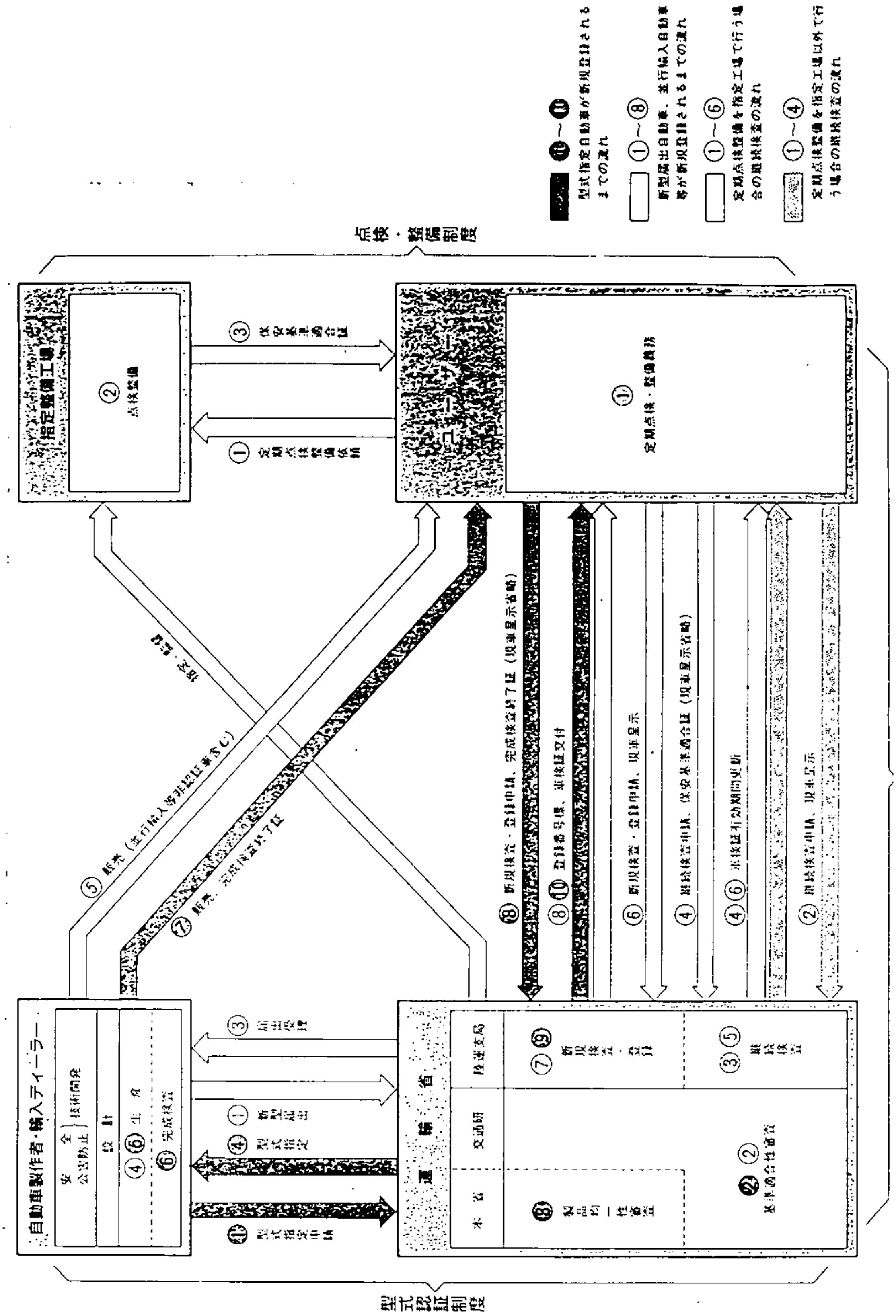


図 14.8 自動車の安全公害に係る制度の概要

【インドネシアにおける大気保全技術移転事例】

第15節 大気保全技術の途上国への移転技術

■1993.3～1995.3，ｲﾝﾄﾞﾈｼｱ，ｲﾝﾄﾞﾈｼｱ環境管理ｾﾝﾀｰﾌﾟﾛｼﾞｪｸﾄ，長期派遣
■1995.4～1997.3，ｲﾝﾄﾞﾈｼｱ，ｲﾝﾄﾞﾈｼｱ環境管理ｾﾝﾀｰﾌﾟﾛｼﾞｪｸﾄ，長期派遣

早川守彦

はじめに

途上国の技術職員に対し環境技術を移転するにあたって留意すべきいくつかの問題点があることを先ず最初に明らかにしておきたい。教科書に書かれているとおりに実行しようとしても必ず壁にぶつかってしまう。個別の専門家として、またプロジェクトの専門家として体験してきた途上国に共通の障壁について述べる。専門家としてすべきことがあるのは当然だが、してはいけないことを知っておく事の方がむしろ大切だと最近感じている。

その最も大切なことは「教え込みの弊害を認識する」ことである。わが国のこれまでの環境技術協力では分析機器、観測計器など機器類をともなうことが多い。大気自動計測機、エミッション計測機、ガス発生器、サンプラーなどＥＭＣプロジェクトの場合数え上げれば数百点に達する。環境自動計測器だけでも９種類ある。それらは全て測定方式が異なりキャリブレーションの方法、測定原理なども違う。日本の環境研やメーカー、メンテ業界などに籍を置く者でもそれらを正しく使いこなす事の出来る人は筆者の知るかぎりでは極めて限られた人達だけである。家庭電気製品のように何処と何処のボタンを押せば目的が達せられる類の物とは大きな隔たりがある。素人、例えば行政官でも扱える日は当分きそうにもない。これらの機器の操作方法を次から次へと教え込んでいくとどういうことになるか。

しばらくすると彼らは教えた筆者よりもよほど素早くボタンを押してオペレートするようになる。それで自分はもう一端の大気汚染研究者になったような気持になる。出てきたデータが幾らかなどまるで眼中にない。ただ、大型の機器を自分は操作できるようになったということだけで満足してしまう。データはデータロガが収録してくれる。フロッピーの交換さえすればいいんだ。データが集められれば全ては終了である。分析試薬をこつこつ調製して、ハンデイーエアサンプラーで大気を集め分析するようなまどろこしいことはやっていられない。自分はずっと高級な計器が扱え、それが高精度のデータを提供してくれるんだからと。

長年大気自動計測機を扱ってきた経験から言うと、大気自動計測機を扱いきれる人はマニュアルで相当の精度で大気が分析できる人だけである。この相当の精度というところが大事な点で、測定法のテキストに従って単にやってみただけで「測った」、「測れる」と思い込んでしまうような人はまず失格である。自分で測ったデータがどれくらいの精度であるかを検証しようとしない人は信用できない。例えば、フィールドへ出てＮO_2の濃度

を２０パーセントの誤差範囲で測定できるようになるには測定法の原理からNO_2ガスの物理的、化学的性質、分析に用いる試薬の性質、ガス吸収管の吸収効率、反応生成物の性質、NO_2ガスからNO_2^-への変換率、流量計の性質等に精通しないとできない仕事である。これが５０パーセントの誤差範囲でいいというのであれば事情はかなり違ってくる。しかし、環境基準項目の測定では５０パーセントの誤差は許容されない。ザルツマン式自動計測機は手分析を自動化したものであるから最も取つき易い大気自動計測機であるが、上に述べた手分析に必要な知識の上に機械に関わる充分な知識が無いと扱いきれない。この二つが備わって始めて大気自動計測機で出したデータが信頼出来ると胸が張れる。

このように見てくると日本の機器メーカーのスタッフやメンテ業者の多くはこれに似た状況にある。機械的なチェックは出来ても測定値が真値からどれだけずれているか検証できない。最近は知らないがかつては何処どこのステーションのデータが低すぎるとか高すぎると問題になることがよくあった。住宅地域にあって常識的にみても市内で平均以下と考えられる地点のSO_2のモニタリングデータが市内最高値を数箇月続けている。新聞にも大きく報道される。メンテ業者が飛んで行って等価液を流したり、流量計、吸収液などのチェックをし、どこも異常はなかった計測値は正しいと報告される。ところが大気汚染の測定経験の長い者は機械が出したデータは全面的には信用しない。この経験の長い者というのはデータを無意識の内に比較する習慣が身についているので、隣のステーションの値と比べる、関連する他の汚染物質のデータや気象データと比べる、経時変化をみる等の作業を瞬時に行っている。そこでもっと徹底的に調べるべきだとの声が上がってくる。

次にやられるのは大変御苦労なことに百キロ近いあの大型の大気自動計測機をステーションの近くへ持って行って並行運転を１週間から２週間かけて行うという大作業となり、メンテ業者、メーカー、行政、研究所などから大勢の人がかり出される。その結果、両者で大幅に値が違うという事になり、再度計器の点検が行われる。前回と同じ事が繰り返されやっぱり異常が発見されない。今日はこれで終わりにして明日またやり直そうと帰り仕度をしかけたところで、誰かがサンプリングチューブがひどく汚れているのに気がつきチューブだけでも代えておこうと計機を前に引っ張り出してみると、なんとチューブが計機に繋がっていない。笑うに笑えない話である。建屋内の空気を測っていたのである。

こんなことが現実に全国でしょっちゅうあった。流量計の浮き子が汚れで引っ掛かって停止していたのを数ヵ月にわたって見過ごしていたという例もある。厄介な例になるとNO_2の吸収バブラーが目詰まりしてそのため強い力で吸引するため限られた細孔を選択的に試料空気が通過するため吸収効率が低下するという例もある。このようなことが起こるのはメンテにあたる者が測定値に対する知識・経験が少なく、異常な値と判定する能力に欠けることが第一にあり、第二にたとえ異常だなと思ってもそれを検証する能力が無けれ

ばそのまま知らぬ存ぜぬで過ぎてしまう事である。ここで先に挙げた能力を備えた者がいればチャートのデータを見ただけで異常を判定し、必要なチェック事項を点検する。大抵はそれで異常箇所が発見されるが、それでも異常が発見されないときは手分析で同時測定をする。それに要する機材は片手で持ち運べる範囲ですむ。わずか数時間で異常の判定とその修復が済んでしまう。

国レベルの技術協力の担い手として途上国で技術移転をする人に対して点数で数えられるような協力内容を求める人が少なからずいる。日本のお役所の発想をそのまま途上国の現場に持ち込もうとするものである。数字で表せないと不安なのだろうか。或いは、紙の上だけでもいいから何かがなされたと云うことの方が、言葉や数字で示せないカウンターパートの頭や心に残った事より重要だ考えているのであろうか。SO_2 計は扱えるようになりました、オキシダント計はトラブルの対処まではいかないが通常のオペレーションはできるようになりました、と云う表をカウンターパート別に作って私の技術移転はここまで到達しましたと満足している。ガスクロの操作方法を教えてガスクロの技術移転は終わった、次はガスマスだと意気巻いている。次々と機器の操作方法を手とり足取り教え込んでいく。そしてそれが求められる専門家像だと思い込み、また周囲もそれを評価するという風潮がが無きにしも非ずである。見せ掛けだけ技術移転である。それだけで終わればいいがこの点数主義のもたらす教え込みは非常な危険をはらんでいるのである。

教え込みが如何に人の能力の発達を阻害するかは日本の教育の現状を見れば明らかである。本来、教育は知識を詰め込むことではなく、人がそれぞれに持っている特質を引き出すことである、エジュケイションの語源はそこから来ていると言われるが全く本質を突いている。高校3年卒業時の知識量は恐らく日本人が先進諸国の中でもトップクラスにあると思われるが、大卒時になると一気に並みくらいまで急降下し、人間として最も知的成長を遂げなければならない２０代後半から３０代になると１８才までに蓄えた貯金を完全に使い果たしてしまう。詰め込みの弊害である。学ぶ喜びを正しい教育によって培われた者は学校を卒業してからも絶えず学び続けるが、大学に入るまでの苦役として育った者は学校を離れると同時にストップしてしまう。世間で評判の高い大学の卒業生ほどこの反動が大きい。幼少時より塾だ家庭教師だと無理やり詰め込まれて来た者は学ぶのは学生時代に終わった、あんな苦しい事を二度とするもんかと言う気になるのは自然の流れである。理屈を根堀り葉堀り考えていたら効率が悪いので結果だけ、解法だけ遮二無に覚えて例題にむかう。英語の文法、構文、数学の定理、解法を確実に覚えた者が大学へのパスポートを手にすることが出来る。

無償で入れた機材の使い方を教えるのが専門家の役割だと思い込んでいる人が少なくない。トレーニング信奉主義者である。プジェクト終了迄にそれを終えるのが最低限の責任

だ、などと言う。とんでもない話である。他の分野はいざ知らず、環境分野の移転対象は研究者か研究者のたまごである。計機のオペレーターを養成する職業訓練所の職員を対象としているのではない。研究者は物事を考え、判断する能力が最優先に求められる。理屈も分からずにマニュアルにそって計機をオペレートして出したデータがいかに危険であるか知らしめるべきである。環境分析は分析化学の分野でも最先端に位置する高度の専門知識と経験を要する仕事である。数学、物理、化学、気象学、時には生物学や社会科学、人文科学の知識まで総動員してやっと目的が達せられるものである。残念ながら多くの途上国のラボで働く人達のレベルは想像するほど高くはない。

途上国にも勿論優秀な人材は少なくないが、一般的に言えば、より多くの優秀な人材が公務員より数段給与の高い民間の優良企業に流れてしまっていることも事実であり、公務員の中には低賃金ゆえに意欲に欠ける者もまゝ見受けられる。一方、大学をトップクラスで出た者は別ルートから４０才代でいきなり局長や次官に抜擢される。想像するに、彼らは企業代表として役所に送り込まれて来るのであろう。役所の給料はわずかなものであるから不足分は出身企業が補填していると聞く。行政はこれらトップエリートによって行われ、下から這い上がった者がそのような地位に立った例は知らない。

この極めて低い賃金と一生下積みの生活を続けなければならない運命が途上国では未だ希少価値のある大学出といえども意欲を失わせてしまう。このような人達にいかに動機ずけ出来るかが技術協力を成功させるか否かの鍵となる。この動機ずけが行われないままに操作方法を教えることを第一目標にした技術移転が進められると、前述したとおりの誤った方向に陥ることになる。目新しい機械に興味を示すが、一応の操作ができるようになっただけでもう飽きてしまう。それだけならまだいい。訳も分からずに操作して出てきた数字をデータだと信じてしまう。数字が綺麗にタイプされ、統計データと共に出て来る計器だと尚更始末が悪い。

途上国でこれまでに出された大気汚染データがいかに信頼のおけないものであるかは幾つかの国際機関から発表されたデータに目を疑いたくなるもの少なからず在ることからお気付きの方もあろうかと思う。マスコミも例外はあるであろうが概して環境データに疎い。そこで数字だけが一人歩きして、例えばジャカルタは世界で三番目に大気汚染がひどい国だなどと報じる。もっとも筆者の周りにもあれは本当ですかなどと大まじめで聞くのがいるから一概にマスコミを責めるわけにはいかない。

環境技術協力に身を投じて１０年、これまで見てきた先進各国の技術協力は一体意味をなしてきたのか、行政支援はさておき技術面、特に我々が行っている測定・分析の分野の協力は多くの途上国で功を奏しうるのか、疑問を感ずることがしばしばである。みせかけ

だけ、あるいは断片的で積み上げられていかない技術協力が目につく。生半可な技術移転は誤ったデータを氾濫させるだけでむしろ罪悪ではないかと。

分析化学という学問の発達の段階を追うと、日本を始めとする先進諸国は少なくとも百数十年、中にはかつての錬金術の時代から数百年の歴史を持つ国もある。この歴史の積み重ねの上に今日の学問がある。途上国の多くは学問、特に自然科学が国民大衆に行き亙り始めたのはこの２０～３０年である。自然科学系の大学教師が外国語で書かれた書物を読みこなし、少なくとも基礎的な数学の知識を身につけないことには種々の夾雑物の混在する微量分析など学生たちに教えられない。先進国の教科書の翻訳本を棒読みする講義が学生達に学問への興味を喚起できるとは彼らもよもや考えてはいまい。

重ね重ね残念なことに途上国の大学教師の給料は運転手のそれとさして変わらない。いきおい優秀な人材は外資系の企業などに就職する事になる。インドネシアの場合つい最近まで小学校を卒業すると小学校の、中学を卒業すると中学の先生になれたと言う。その給料は女中と変わらない。これだけ教育がないがしろにされてきた理由が分からない。国民が賢くなるのを恐れる為政者がいたのであろうか。たまたまこの文を書いている最中、次ぎのような新聞記事が目に止まったので紹介する。「元ピッツバーク州立大学の学長で現在インドネシアのさるコンサルタント会社の社長をしているＤｏｎａｌｄ　Ｗｉｌｓｏｎ氏は『スハルト政権下で開発、改善が進みインフレ率や貧困率が低下した。しかし人材開発と教育にはほとんど投資されてこなかった。これはシンガポールやマレーシアと対照的である。両国は巨額の投資を教育と人材開発にかけてきた。』」シンガポールは既に、マレーシアはいま途上国を脱しようとしている。氏はこれを「アジア・２１世紀の目覚める巨人」と題して近く講演するという記事であった（Ｊａｋａｒｔａ　Ｐｏｓｔ　９７年１月２４日）。

事情は何もインドネシアだけではない。多くの途上国が似たり寄ったりである。国民大衆の教育をないがしろにしてきた国、それが途上国の共通項である。一部のエリート家族は授業料が国公立学校の数十倍の優秀な教師のいる私学に子女を通わせ、中学或いは高卒後は西欧の大学に留学させる。それらの卒業生の多くは国へ帰らず留学先の国で就職する。終戦後の日本と似ている。頭脳流出である。最近インドネシアではこういった優秀な人材を国内に呼び寄せようと政府が呼び掛けているが、それに応える者は少ない。あまりに大きな給与格差と職場環境の違いは愛国心だけでは引き寄せられない。

インドネシアのインテリ階層の間で非常に人気のあるハビビ大臣はスハルト大統領がドイツから呼び寄せた俊才で、スハルトの懐刀と言われる。彼は「国は人である」と言って人材育成に大変な努力を傾けている。小中学校の先生も教育大学の卒業生を当てるように

なり、毎年１５０名程の留学生に国費を支出するようにもなった。そのハビビを重用するスハルト政権は今進むべき道を探しあて、着実に歩み出した。それが近年の目ざましい経済成長の基盤になっている。ハビビが健在の限りインドネシアの将来は明るい。ＥＭＣのスタッフ達の留学熱は新婚間もない妻や家族を国に残してでも日本へ、アメリカへ、カナダへ、オーストラリアへとすさまじい。これが単なる箔ずけの為でなく、本気で勉強し、研究者としての実力を磨き上げげたいと云う動機から来ているものであれば頼もしいが。

国のトップレベルは先進国へ流れ、その次のクラスは国内の外資系企業に、三番手は国内の上場企業に、四番手はその下の非上場企業にと言った順である。残念ながら公務員の志願者はこれらランクの下の方、又はそれ以下のことも多いと言われている。一年ほど見習い士官をしたのち、試験を受けて正規の役人に登用される。試験は競争試験ではないので大抵は合格できる。その試験に合格するために一生懸命勉強している姿にはお目に掛かった事がない。日本の今の公務員試験やかつての高文試験、中国で十数世紀に亙って続いた科挙のような厳しい官吏登用試験とまではいわないが、国や地方の行政に携わる役人の選抜方法と待遇を改善しないことには一握りの高官達の思うがままに行政が進められてしまう。同じ事が教育に携わる人達にも言える。

この様にして入ってきた人達を相手に技術移転する立場にある我々はありきたりの方法で幾らかでも役に立つ仕事ができるなどと甘く考えるべきでない。ところが多くの場合、環境技術協力に派遣される専門家の任期は２年である。派遣要請を受ける側の専門家も２年間の御奉公ぐらいにしか考えていないから任地に着くまでは所属先の仕事に没頭し、同僚達に気を遣って、ほとんど準備をする暇もなく派遣される。早速、年間計画などを要求され、ＪＩＳやＥＰＡのマニュアルなどを手引にして指導計画を作る。しかし日本人でさえ相当レベルの人達、例えば大学の理工学部に籍を置くような人達でさえおいそれとは出来ないＪＩＳの操作マニュアルなどカウンターパートに通じる筈がない。外国語で書かれた極めて煩雑な記述の分析マニュアルを読み、実行してみようと思う者はいない。国際規格のＩＳＯにしてもかなり簡素化されているとはいえやはり規格であるだけに厳格なことは否めない。

規格がある以上それに従って技術移転すべきだと言う論がある。それを主張する人は実情を知らない人だ。途上国にもレベルの差があるので一概にはいえないが、少なくともある一定レベルに達するまでは専門家たるものはカウンターパートや関連するラボのスタッフなどの能力を見極めて自前で準備すべきである。技術移転は直接にはカウンターパートに移転されるが技術を移転されたカウンターパートが次に地方ラボのスタッフをトレーニングする段階まで考慮されるべきである。出来合いのマニュアルをそのまま示してさあやってみろといったところで誰もついてきてくれはしない。このような専門家は専門家失格

である。

相手の能力に見合った方法を出来るだけ噛み砕いて、しかも原理を理解させて始めて本物の技術移転が可能となる。操作方法のポイントを図解するなどの工夫も必要となる。専門家の語学能力はオーラルのコミニュケイションにのみ関心が向けられ勝ちであるがこの様な目的を達成するためには正しくかつ相当の速さで文章を書く能力も要求される。

参考文献に示した英文資料はあくまでも筆者が筆者のカウンターパートに対して行った技術移転の一例であって参考にして頂ける面はあるかもしれないが、条件が異なればそれに応じた手法が当然必要となる。従って一つの実践例として見て頂きたい。この資料の中の一つに大気分析に関わる問題集がある。これは4年間に8回に亙って実施した基礎知識及び技術の習得状況を判定するテスト問題を纏めて冊子にしたものである。一人前の研究者になったつもりでいるカウンターパートにこのテストを受けさせるにはそれなりの工夫が要る。このテストの結果は毎回全員の得点を一覧表にしてレターと共に所長に報告し、スタッフを激励するように頼んでいる。

一度講義を聞いたり、少しでもやってみたことがあると全て知っていると言って済ませがちのスタッフに理解できたことと、未だ理解できていないことをはっきりと認識させることは技術移転を進めるうえで重要である。設問は計算問題を意識的に多くした。測定・分析・解析の業務を進める上で数量感覚の弱さが大きな障壁となっているためである。最近の機器は多くコンピューターを内蔵しているので、放っておけば計算能力を磨く機会は少ない。２つか３つの標準で検量線を書いてしまう分光光度計や大気自動計測機のデーターロガのようなものは途上国では害悪である。初学者はデータをチャートから読み取って始めて肌に身につくものである。検量線も自分で書けば引き方から勉強しなければならない。最小自乗法の計算を手でやってみるのもいい経験となり理解も深まる。中には検量線が直線にならない場合もあることが分かる。

ところが途上国では、いや日本でさえコンピュータ処理された物のほうが信頼がおけるかのように思い込んでいる人が多い。実験台の前に立っている時間よりコンピュータの前に座っている時間の方が長くなる。これでは力がつかない。私はみつけるとコンピュータなどいじくっている暇があったら実験台にたてと言い続けている。途上国の環境ラボにコンピュータを入れ、システム化することは結構なことであるが、柔軟な思考力の成長を妨げる恐れのある諸刃の剣である事を充分に考慮に入れておかねばならない。電卓でさえ出来るだけ使わないようにして、測定を行いながらその場でおよその値がつかめるようにならなければ臨機応変に条件設定が出来る様に進歩して行かない。フィールドでの測定・調査において例えば吸光度からおよその濃度が暗算で出せるようにならないとサンプリング

時間の設定も出来ない。画一的なサンプリングを行って、濃度計算はラボに帰ってから、というのでは効果的な調査結果は期待出来ない。

数字に強くならないと大気汚染データを有効に活用できないし、分析の過程でもとんでもない誤りを犯す。比例計算だけでも身につけば標準溶液や標準ガスの調製も目的に副った濃度で必要な分量を作ることが出来、迅速かつ無駄がない。数字に強くなるには日頃の習慣の積み重ねがなければ一朝一夕に身につく物ではない。テストの目的のひとつはこれを助長するためのものである。ＥＭＣの所長もこのテストを実施することを歓迎してくれているし、本庁（ＢＡＰＥＤＡＬ，ジャカルタ中心地にある）の大気ダイレクターからもうちのスタッフにも受けさせてくれという要望があったので、それまでの問題をまとめたものである。

さて、序論はこれくらいにして各論に入るが、最後に締めくくりとして技術協力の要点を纏めておきたい。専門家はカウンターパートに動機を与えるのが第一、次は適切な指針を与える。例えば、黙っていても彼らがトライしてみたくなるようなレベルに合った測定分析のマニュアルを自前で作って示してやる。ここまですると、意欲のある者は質問してくる。この質問に確実に答えてやる。ただし、質問の中にはちょっと調べるとわかるものが少なくない。最初のうちは彼らが質問に来ただけでもその意欲を認めてやり、丁寧に答えてやる。しかし、自分で調べることの重要性も付け加えておく。それでも怠け者は自分で調べる労を厭う。そこで徐々に突き放していく。次第に質問内容が精選されてくる。この精選された質問にも１００パーセント答えられる実力を付けて赴任して始めて専門家である。

途上国は意外に思うかもしれないが実力の世界である。先進各国からドナーが入り込んでおり悪く言えばドナーずれ、よく言えば専門家を見る目が肥えている。最初のうちは日本での肩書で生きていられるがやがて実力があるか無いかは確実に判定されるときが来る。その時その専門家の途上国における生命は断たれる。このあたりは数百年に亙て続いた藩制度の流れをくむ温情主義が基盤にある日本の組織、特に大きな会社や官庁から来た人にとっては厳しいところである。むしろ途上国では個人経営者のように独力で道を切り開いて来た人の方が向いている世界といえる。日本で孤軍奮闘して生きてきた人の方がふんばりがきく。順風のなかで生きてきた人は苦労することになる。

各論に入る前にもう一つ重要なことを述べておきたい。それは環境基準である。環境基準が設定されているか否かでその国の環境行政の甲乙をつけるような乱暴な議論を時々みうけるがこれは大変な認識不足である。環境基準はモニタリングがあって始めて意味をなすのであって、モニタリングの無いところでは全く意味をなさない。先ずモニタリングあ

りきである。前述のように大気自動計測機が運用出来ない大部分の途上国では年間をカバーできるようなマニュアルのモニタリング手法と言えば暴露法しか無い。ところが大気自動計測機が普及している先進国の環境基準をその儘持ってくるのでとんでもないことになる。パラロザニリン法やザルツマン法で測定しなさいということになる。一時間毎の測定はいくらなんでも大変だから２４時間連続してサンプリングしなさい等と無謀なことを求める。インドネシアでも１９８８年に設定された環境基準があるが地方ラボ職員に混乱を起こし、自信を失わせただけである。２年前に筆者が提案して現在改定作業が進められているドラフトを示したので参考にして戴きたい。

１．環境大気中SO_2測定技術

1.1　PbO_2キャンドル法

大気汚染の歴史はばいじんとSO_2で始まり、世界の公害病患者の大半はSO_2に起因するものである。先進国では重油中の硫黄の除去（燃料脱硫）や燃焼排ガス中のSO_2を除去（排煙脱硫）する技術が開発され、SO_2による大気汚染は過去のものとなりつつある。しかし世界的に見た場合、石炭中の硫黄の除去技術が経済的に他の低硫黄燃料と競合できるレベルに達していないことからトータルでは増えることはあっても減ることは当分見込めない。排煙脱硫は石炭燃焼排ガス中のSO_2の除去には有効な対策であるが、日本の技術をそのまま持ち込んだのでは巨額の設備投資と巨額のランニングコストがかかり、この負担を途上国に期待することはできない。排煙脱硫を例に取れば、多少脱硫効率は下がっても設備投資やランニングコストの負担が途上国にも耐えられるような技術の適正化が必要である。

アジアにおけるSO_2の増加は経済成長の伸びの２乗に比例して加速度的に増加するものと予測される。産業活動が初期段階の国々では、特に自国で石油、石炭、天然ガス等の地下資源に恵まれたインドネシアの様な国では発電所やオフィスビル等は天然ガスや軽油等を燃料として使うことができる。そのため現時点でのジャカルタのSO_2濃度は参考資料に示すように世界が驚愕したほど低下した日本の現状よりも更に低い濃度である。しかしこれがいつまでも続けられる保証は全く無い。

天然資源は国の経済を支える重要な財産である。現在はそのおこぼれ程度を産業活動に回すだけで足りるほど産業規模が小さい。ラフな比較をすると、日本の昭和４０年代に全国で使われた石油の量は年間２億キロリットルであった。その十分の一が首都圏で使われたと推定すればその量は２千万キロリットルである。それに対して現在のジャカルタ首都圏で使用される石油の量は年間２８０万キロリットルでありその内硫黄含有量の高い重油

はわずか４４万キロリットルである。石炭は１.６５万トンと重油の４倍程使われるがその９５パーセントはセメントキルンで使われている。大雑把にいえばSO_2発生量はかつての東京首都圏の２０分の一である。

環境濃度でいえば当時の東京の５０ＰＰｂに対しジャカルタは５ＰＰｂである。ジャカルタの産業活動は未だ助走の段階である。これがこれから加速し、疾走し始めると燃料消費量は飛躍的に増加する。天然ガスや軽油など硫黄含有量の低い燃料を国内産業に回せる量は限度があるので、限界を超えた時に依存できる燃料は石炭、重油に向かうのが必然である。ある段階から産業活動がふくらんだ部分石炭、重油の消費量が増大すると予測される。それが何時になるかは信頼できるシュミレーションの結果を待たねばならないが、現在の１０パーセント近い経済成長率から素人目にもそんなに遠い将来のことでは無さそうだ。それまでに排脱のランニングコストが大幅に下がる技術革新が進むか、石炭液化コストが経済的に見合う段階にまで至れば先進国が経験した猛烈な公害病、慢性気管支炎や喘息患者の大量発生を回避できるであろうが、その面の目途はついていない。

この様な事態を未然に防ぐには信頼できる大気汚染モニタリングを継続的に実施することが先決である。この継続して実施するということが極めて重要で、継続したモニタリングデータを検討してみると色々なことが分かってくる。ところが途上国の多くはモニタリングの意味からして分かっていない。そのため先にも述べたように実行不可能な環境基準が設けられている。先ずこのあたりから行政の責任者に説いて行かねばならない。前にも述べたように行政のトップクラスはさすがに優秀な人材を抜擢してあるので説明をすれば分かってくれるものである。そこで関係者を集めて環境基準検討会が持たれる。このような会議で行政職員は少しずつ自分たちがやるべき仕事を認識してゆくというのが途上国の環境行政の現状である。

この行政部門には西欧各国から多くのアドバイザーが自国のエイド機関から、あるいは国際機関から派遣されて入っている。多いときはＢＡＰＥＤＡＬの秘書、事務職員などを除いた技術スタッフの数と同数くらい入っていた。現在に至るも若干減ってはいるもののその数は相当なものである。これら西欧人アドバイザは一体なにを今までしてきたのだろうと最初のうちは不審に思ったものである。ある国からはＢＡＰＥＤＡＬができる前、人口環境省と言う立法措置と省庁間の調整事務を業務として肝心の規制権限を持たない役所の時代から十数年に亘って数名のアドバイザーを送り続けている。

現在インドネシアの環境行政は上記の人口環境省と双子の環境管理庁（インドネシア語の頭文字からＢＡＰＥＤＡＬと称される）が中心となり、保健省、工業省、運輸省、気象・物理庁、州政府、ジャカルタ特別区等が関連機関として行政事務、モニタリング、調査

研究などに従事している。これらのどの機関にもＪＩＣＡ専門家や諸外国、オーストラリア、カナダ、ドイツ、フランス、イギリス、アメリカ等の国からまた、世銀、ＡＤＢなどの国際機関から派遣されたアドバイザーやコンサルタントがいる。そのため中央官庁はさしずめ国際社会である。従って、彼らの間では激しい凌ぎあいが続けられている。日本人専門家はこれらドナーと協力する事なしに目的を達成することはできない。

ドナー間協力の最大の目的はドナー間のコミュニケーションを良くするする事により技術協力の効率化を図るものである。ドナー間で今、ＢＡＰＥＤＡＬのスタッフに何が求められているかを議論し、そのためにはどうしたらいいのかを引き出すのが先決である。議論無くプログラムが先行するのは単に場所を提供しているだけで協力でも何でもない。単なるサポート事業に過ぎない。ドナー間の交わりは未だ個人的な人間関係に頼っている段階である。筆者自身は外務省から言われる前から濃密な協力関係を築いてきた。メキシコ環境省在任中はアメリカ人コンサルタントＤｒ．Ｗａｌｓｈと絶えず情報交換を行った。これは業務を進めるうえで必然的に発生したもので、誰からも指示を受けたものではない。氏からは今以て毎月ニューズレターが届く。インドネシア着任後一箇月たたないうちにカナダＣＩＤＡ（現在は改組してＣＥＰＩ）チームの大気アドバイザーＭｒ．ＢａｒｉｄＭａｎｎａとＢＡＰＥＤＡＬスタッフを伴ってバンドン工科大学へ共同調査に出掛け、以後エミッション排出規制基準、環境基準測定法などについて意見を交わしたり、工場排ガスの実測の依頼を受ける等の関係を続けて来た。

しかし、濃密な関係と言えばオーストラリアＰＣＩチームの大気アドバイザー、Ｍｒ．Ｍｉｃｈａｅｌ　Ｍｏｗｌｅ、通称Ｍｉｋｅとの関係に勝る者はない。たまたま彼がゴルフ好きと言うこともあってほとんど毎週グリーンの上で互いの指導方針や共同調査の可能性を話し、その後筆者宅に移動してビールと女中が作った日本料理をつつきながら暗くなるまで交わした会話は同じチーム内の日本人専門家との会話の量をはるかに凌駕していた。その結果生まれたのがジャカルタのＰＭ調査であった。Ｍｉｋｅ氏は志半ばにして派遣機関の要請に従って帰国したが、その後は同チームのリーダーＭｒ．Ｐｅｔｅｒ　Ｓｔａｎｄｅｎとほぼ週一ペースでコンタクトを持っており、彼を核とするグループのアドバイザーやコンサル、大使館員らとの人脈も広がっている。

ＢＡＰＥＤＡＬにいる欧米人の動きに無関心でいてはＥＭＣのスタッフの方向ずけは難しい。ダイレクターが何を考えているかを知るにはダイレクター自身と会うことも大切であるが、欧米人アドバイザーから間接的にムードを読み取ることも必要である。ダイレクターの秘書もキーパースンの一人である。ＥＭＣのスタッフはＢＡＰＥＤＡＬの一職員であるから当然のことながらＢＡＰＥＤＡＬの動きに敏感である。このように見てくると、専門家はラボに閉じ籠もって技術移転さえしていればいいんだと言うわけにはいかないこ

とがご理解戴けよう。昨年末筆者宅で行ったＰＣＩ、ＥＭＣ親善パーテーには世銀プロジェクトマネジャーのＭｒ．Ｊｈｏｎ　Ｐａｔｔｅｒｓｏｎらも加わり午前中のゴルフの話しからカラオケに打ち解けた時間を楽しんだ。

さてかくも大勢の外国人アドバイザーがいながら現実性に欠けた環境基準ができ、それがなぜ１０年近くなんら取り沙汰されてこなかったのか、アドバイザー達が余程怠慢だったのであろうか。筆者の見るところでは怠慢というより畑違いの専門家あるいは専門領域の狭いアドバイザーが大勢を占めた為、広い視野に立って助言ができなかったのが一つの原因であり、もう一つは途上国側にある。いかに有効なアドバイスがなされてもそれを受け入れる器が無ければ意味を成さない。先にも挙げたようにＢＡＰＥＤＡＬの職員の中で技術や政策の移転の対象となりうるスタッフは百名にも満たない。そこに３０名からのアドバイザーがいるとどうなるか。１００名中英語でコミュニケートできる人物と言うと先ずそれだけで３０名程度になってしまう。そのなかで少し有能な人物となると更に３分の１にしぼられる。この１０名そこそこのカウンターパートに３０名のアドバイザーではカウンターパートからあぶれたアドバイザーがいっぱいいることになる。そのカウンターパートからあぶれた人は何をしているかと言うとペーパー作りである。

ペーパーと言っても彼らの多くは行政官あがりか、コンサルタントが主体で中には大学などの教育機関から来ている人もあるが、何か調査を行ってそれを基にして書くペーパーではない。先進国の法規や行政レポート、技術・研究論文などを寄せ集め若干の解説や脚色を加えた物に過ぎない。高官達に提案書として出されるそれらのペーパーの量は膨大な量となる。外国語で書かれたそれらの文書を根気よく読んでくれと期待できるであろうか。勤勉な日本のお役人でさえ難しいのではないか。トップエリートといえども我々が期待するほど国を背負って立つと言うような気概に燃えているわけではない。明治の建国の志のような意欲と闘志に漲った人物でも出ないかぎり辞書を片手に片っ端からそれらの文書を読み、翻訳して部下に回覧するなどと言うことは有り得ない。

アドバイザーの派遣元のエイド機関はアドバイザーの評価をこの紙の厚みですると言われる。いきおい相手が読んで呉れようと呉れまいとボリュウムを増やすことを考える。そこで受け取った側は枕の代わりにするくらいにしか価値を認めない。悪循環である。此の膨大なペーパーの全てが取り上げて貰えないと言うわけではない。その例外とはそのペーパーを取り上げることに因って高官個人に特別なメリットが期待できる時である。言うまでもないがペーパーを渡す時には十分にブリーフィングをして相手を納得させ、共感を得なければペーパーの存在さえ知られずに葬り去られてしまう。取り上げられた提案は○○プログラムとか△△プラン等の名称で事業化される。

大気では、ブルースカイ計画というのが既に5年程前に発表されていた。しかし、この計画はつい最近まで眠っていた。高官にとっては思惑が外れたものの一つである。なぜならこれが発表された時点では固定発生源より排出されるエミッションの測定ができる機関が何処にも無かったからである。せいぜい野焼きやラビシュバーニングと言われるゴミの野焼きを取り締まる位が籍の山であった。そこでEMCに煙道測定の依頼がBAPEDALから持ち込まれるようになった。環境測定だけでも手一杯であったがBAPEDALから言われると大気スタッフは抵抗出来ず、先ずNO_x、SO_xから始め、やがて産業公害防止プロジェクトに完成した実験用燃焼炉を同プロジェクトの大内リーダーと秋山大気専門家との間で両プロジェクトが協力関係を築く手始めとして、共同で煙道測定の技術向上のため利用する話が纏まりPMの測定を始めて行った。恐らくこれがインドネシアで煙道のPM測定が正式に行われた最初であったと思われる。

一度地方の工業省のラボで煙道用PMコレクターをみたことが有るが、其処のスタッフ達は基本的な知識さえ持ち合わせていなかった。以後、大気ラボには測定依頼が殺到するようになり、測定機材を車にのせ、時には飛行機に積んで全国各地を行脚するようになって仕舞った。これは予期以上の収入がBAPEDALに入り、大気のスタッフにも一箇月分の給料を遙かに上回る手当てが依頼企業から支払われるので自粛するように絶えず言っているのであるが止まらなくなってしまった。このような事態を避けるため検査料を高く設定したのが裏目にでたのである。独占企業だからいくら高くてもBAPEDALの指示に従って頼まざるを得ないのである。最近になってこの旨みのあるビジネスに民間コンサルタントが参入したが、需要は全国各地に在るのだから当分の間此の依頼検査攻勢から逃れられそうに無い。

依頼検査から脱却する最善の手はこの技術を早く地方ラボに移転することである。BAPEDALもトレーニングの予算を獲得してくれたのでこの春地方ラボスタッフをEMCに集めてトレーニングをする運びとなった。OECFローンで導入された機材を使って地方ラボで煙道測定が実施されるようになるまでには未だ2～3年はかかるであろうが、恐らくアジアの途上国では煙道測定が全国レベルで行われる最初の国になるのではないか。筆者の目からみれば極めて貧弱な知識と経験しかないスタッフ達であるが、彼らが測定に企業を訪れると大変な信頼を受けているようだ。

話が飛んだが、PbO_2に戻る。日本では公害問題が社会問題になる前から先進自治体では昭和20年代ないし、30年代からPbO_2法によりSO_2の環境モニタリングが実施されてきた。此の方法は文献に記録がある限りでは英国で1930年代初頭、D. S. I. R無線研究所で行われている。その後、ヨーロッパ諸国、日本、北米等に広まりSO_2のモニタリングに使われて来た。その後日本では大気自動計測機の普及と自動車排ガス

による鉛汚染が社会問題になり、微粉の鉛の酸化物を使う本法にとっては冬の時期を迎えた。自治体では測定点を減らしたり、アルカリ濾紙法等信頼性のとぼしい方法に切り換えられたりした。しかし、本法の卓抜した信頼性は多くの自治体が測定点を減らしながらも根強く続けていることから分かる。この様な推移の中で本法がその面目を躍如としたのは昭和４０年代半ばに行われた公害病認定患者の地域指定の線引きに果たした役割である。昭和４５年から３年間に亙って公害病患者の多発した地区を中心に１００～２００のPbO_2法測定点が設けられ、そのデータから当濃度線図が作られ、それを基に線引き作業が行われた。この当濃度線図と患者の発生分布図がピタリと一致することがあちこちの自治体で明らかになった。

当時既に溶液導電率法による自動測定機が普及していたが、そのデータと患者分布は相関が悪かった。その時始めて世間が自動測定機の信頼性に疑義を持ち始めた。それまで自動測定機は行政官等の間では神様扱いであった。機械盲信である。機械は人間が適切にコントロールしたときだけその威力を発揮するのであってコントロールが難しい機械は人間の思うとおりには働いて呉れない。

大気自動計測機は手を尽くしてメンテしてなんとかまともなデータを吐き出してくれるに過ぎない。このようなレベルの機械にコンピュータを組み込む事の是非について誰も指摘しなかったのが不思議でならない。かつてはモニタリングデータの信頼性についていろいろな指摘が大気汚染学会等であったが、その結末はつけられていない。それどころか、安易にも多くの自治体では先に述べたようにメンテナンスを民間メンテ業者に任せっきりである。SO_2でもNO_2でもPbO_2法やトリエタノールアミン法で測ったデータではおかしな矛盾が出てこないが大気自動計測機のデータは解析すると必ず説明のつかない事態に遭遇する。

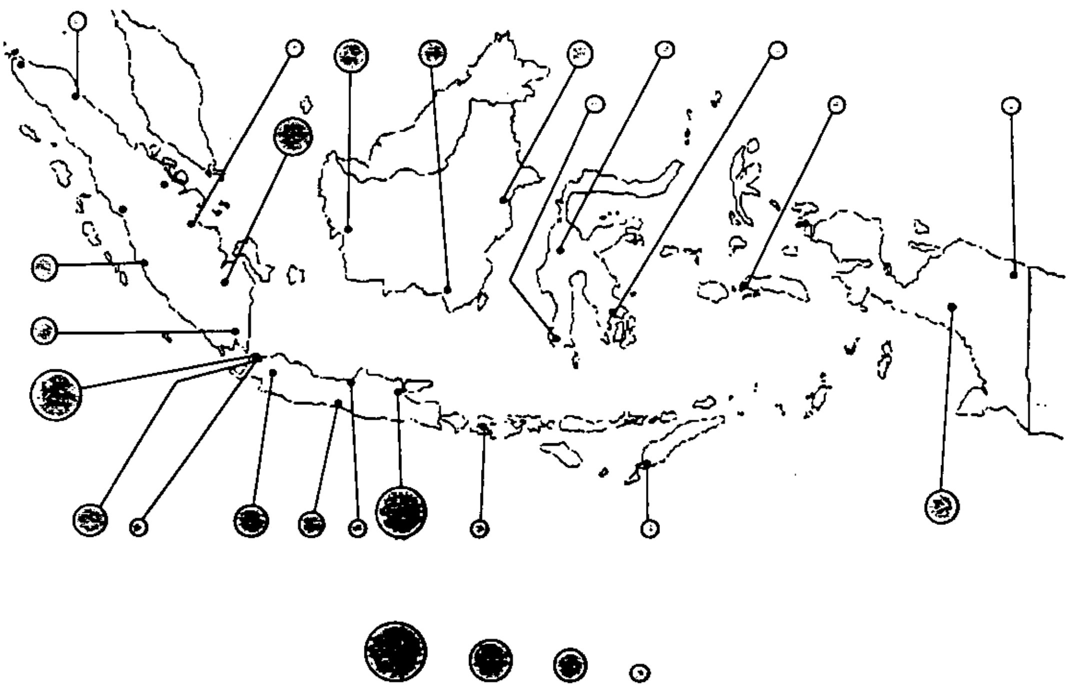
これを途上国にもってくると、メンテを行うスタッフの大気分析の基礎知識・能力不足と高温・高湿等の気象上のトラブル、更に停電、標準ガス、スペアーパーツの入手困難等幾多の障壁が待ち構えている。正しいデータを継続してだし続けることは至難の技である。高感度化、メンテナンスフリーの道を進む計機メーカーの動向からして当分の間途上国では自動モニタリングステーションは機能させられない。そこで環境基準測定法は手分析法で設定する事になる。問題はどの方法を採用するかである。モニタリングを有効なものにするか否かの鍵は測定方法の選定に懸かっている。

現在、多くの途上国ではSO_2モニタリングにパラロザニリン法を採用しているようである。パラロザニリン法は３０～６０分のサンプリングでSO_2の濃度を測定するべく開発された（P. W. West&G. C. Gaeke, Anal. Chem., １９５６）

方法で、特定の工場の周辺で、濃度未知の遠隔の地で短時間の内に濃度測定が必要な場合、大気自動計測機の精度管理のため並行測定をする場合などに有効な方法である。しかし、長期に亘るSO_2のモニタリングには途方もない労力を要する現実性の無い方法である。２４時間値で環境基準を評価する米国で、十分な実験データに基ずくことなく強引にこの方法を２４時間値測定法として公定してしまったのがことの始めである。その後になって長時間サンプリングによって測定値が低下することが多くの研究者によって指摘されてきたが、一度公定されてしまうとおいそれとは変えられないのが法規の宿命である。これがＷＨＯに持ち込まれ、米国より更に温度と日射の強い途上国各国へ標準測定法として推奨されてきたというのが筆者がジャカルタ市環境研のスタッフから聞いて分かった経緯である。

これに対し、PbO_2法で一箇月平均濃度を求める場合は何十分の一かの労力で、年間をカバーするモニタリングが可能となる。５０か所、１００か所のモニタリング試料が2～3時間で準備でき、分析も纏めてすることができるので極めて能率的である。資料にはインドネシア内２４州で１９９４年から3年がかりでモニタリングしたデータをもとにしてインドネシア全国の州都におけるSO_2汚染の現状を示した。また、このプログラムを実施するにあたって行った地方行政官庁および地方ラボ職員などに対する説明会、今後この業務を地方ラボに移転していくため数度に亙って行ったワークショップの進め方についても触れている。

図15.1は得られた州都のSO_2の平均濃度である。（ｎ＝３～　２４）平均温度が日本の１６°Ｃに比べ５０°Ｃ（シェルター内温度）と高いので1 mg・SO_3/100 cm^2/day が日本での３５ｐｐｂに対しインドネシアでは９４ｐｐｂとなることに御留意戴きたい。ジャカルタの中心地ＪＩＣＡの屋上が6．６ｐｐｂ、工業都市スラバヤが５．６ｐｐｂと他から抜きんでており、その次のグループは３ｐｐｂ以下のレベルにある。残りのグループは１ｐｐｂ以下で全体の半数を占めた。このプログラムはＴＥＡプレート法によるNO_2のモニタリングとペアーで行っており、SO_2、NO_2両汚染物質の地域分布と今後の経年的推移を把握していくうえで重要なデータである。なお、このPbO_2法は現在改定作業が進められている新しい環境基準測定法に採用されることになった。



出典：SO_2 concentration in local cities in Indonesia[5]

図 15.1 SO_2 pollution map in Indonesia

モニタリングの実施計画、地方ラボスタッフのトレーニング、ルーチン分析の定着化、得られたデータを用いて行政への働き掛け等一つの実践例として参考になれば幸いである。
資料はＯＥＣＣとＪＩＣＡに一部ずつ保管をお願いしたので問い合わせて下さい。
近いうちにはＥＭＣ大気ラボの年報に収録する予定である。

1.2　パラロザニリン法

水銀の錯塩溶液、テトラクロロマーキュレート（ＴＣＭ）が不安定な亜硫酸イオンと結合してジクロロスルフィットマーキュレートあるいはジスルフィットマーキュレートとなり安定化する。主な妨害はNO_2とオゾンである。NO_2の妨害はナトリウムアザイド、NaN_3を加えて除く。オゾンはサンプリング後３０分の放置で分解する。現在のところ捕集効率、捕集後の安定性、妨害の少ないことで他にこれに勝る方法は無い。吸収液にトリエタノールアミンを採用した例もあるが筆者の経験では妨害のため低濃度の環境大気の

測定には適用出来ない。本法の最大の問題点は高濃度の水銀塩溶液を用いる事にある。粉末状の塩化第二水銀の秤量時の飛散に十分気をつけ、スパチュラ、ビーカーなどの容器は作業後直ちに洗浄する習慣をつける。分析後の廃液の処理については後に述べる。

本法はバッテリー駆動の小型のエアーサンプラー、流量範囲０～２ｌ／ｍｉｎの流量計とトラップ用インピンジャーをセットしたものがあれば何処でも短時間のうちに空気中のSO_2を測定できるのが特長である。６０リッター採気で３ｐｐｂまで検出可能である。SO_2濃度が頻繁に０．１ｐｐｍを越したかつての日本では１０分間のサンプリングで十分に分析出来たものである。先に述べた様にインドネシアの大部分の地域ではSO_2濃度は１ｐｐｂ以下であるのでまずは検出できない。如何に水銀錯体が安定といえども仮にインピンジャーを低温に保ち、遮光するなどの万全の対策を施したとしても気温が３０度を越すような条件下では１００リッター採気が限界である。２４時間採気などとんでもない話である。

吸収液に一旦捕集した後も分解は進むのでフィールド調査では発色試薬と簡易型の分光光度計を携行し、サンプリング後３０分放置してオゾンの分解を待ち、発色させ比色定量すべきである。分析の精度確保と同時に忘れてならないのが事故防止である。こどもは何処へ行っても好奇心の塊りである。ちょっと目を放した隙にインピンジャーのなかの吸収液に手を触れたり場合によっては舐めてみるなんてことも起きないとは誰も保証は出来ない。彼らは調査のために物珍しいハンデーエアーサンプラーを持って調査地点に着いたときからチャンスを窺っているのである。他の方法ではいたずらされてデータが取れなくなっただけで済むが、本法の場合は人命にかかわる事態が発生することも想定して置かなければならない。サンプリングの持ち場は離れてはいけない。これが鉄則である。当然の事ながらフィールドに吸収液を持ち運ぶ場合は必要最小限、通常１００ｍｌに留めるべきである。

分析は非常な高濃度が予想される場合以外は通常吸収液全量を分析にまわす。即ち一発勝負である。標準溶液はサンプル同様調製と同時に分解が始まるのでフィールドに持ち運んでも無意味である。ラボで作った検量線を使用すべきである。発色に及ぼす影響は発色試薬添加後の経過時間と温度、パラロザニリン溶液である。これらが一定に保たれれば検量線の再現性は高い。気をつけるべきはパラロザニリン溶液の調製時に脱色のために加える塩酸の量を厳密に自分で規定しておくことである。この塩酸添加量が多いと検量線の傾きは緩やかになる。パラロザニリン試薬のメーカーによる差、ロットによる差を指摘する人もあるが筆者の経験ではポイントはこの塩酸とパラロザニリンの比が検量線の傾きを決定する。従ってパラロザニリン原液が完全に溶解しきっていない場合は傾きは小さくなる。昭和４０年代前半はこの方法で何千もの測定を行なったものである。

分析が終わったら、この廃液はどぶ等に捨ててはならない。1リッターのポリ瓶を廃液専用に携行し、これに廃液を移してラボに持ち帰り、ラボに用意した10リッターのポリ瓶に移しストックしておく。このストックが7～8リッターになったら2パーセント硫化ナトリウム溶液を沈澱の発生が止まるまでゆっくりと加える。廃液は弱酸性であるので過剰の硫化ナトリウムの添加は硫化水素を発生させ有害である。終点近くなったら滴下速度は点滴にする。それでも滴下終了後は若干の硫化水素の発生を見るのでドラフト内あるいは戸外の人の目に着かない所に半日乃至一日放置する。翌日、瓶の底に沈澱物が沈着したのを確かめて赤色の上済液をゆっくり捨てる。次ぎに沈澱物を1リッターのビーカーに洗い出す。2～3日放置後ビーカーの上済液を捨て沈澱物を広口の1リッターポリ瓶に移す。以上で水銀は全て硫化水銀の形で固定される。もとの廃液の量の何千分の一かに凝縮される。硫化水銀は天然の水銀鉱石と同じ化学形態であり、その溶解度は酸性下でもアルカリ性下でも極めて小さく仮に空き地に穴を掘って捨てても安全である。ポリ瓶に詰めて倉庫に保管しても場所どらず問題は無い。水銀をラボ単位で回収しようなどすべきでない。

2. 大気環境中NO_2測定技術

2.1 TEAプレート法

この方法はNO, NO_2の測定法として著名なザルツマン法（B. E. Saltzman, Anal. Chem., 1954）に遅れること約20年、サンフランシスコ湾岸大気汚染管理区のD. A. Levaggiらとカリフォルニア州公衆衛生局空気および産業衛生試験所のE. L. Kothny (Environmental Science & Technology, 1972) が大気中の窒素酸化物測定法の研究で、NO_2と共存するNOを正確に測定するためにNO_2のみを取り除くことのできる物質をアルカリや活性炭、モレキュラーシーブのような表面活性物質の中から実験により検索していてトリエタノールアミン（TEA）が選択的にNO_2のみを取り除き、しかもNOの発生も吸収もないことを見出したことに端を発する。2年後、カナダ、オンタリオ州オンタリオ研究財団のS. R. Bartonら (Proceeding for 67th Annual Meeting of the Air Pollution Control Association, Denver, 1974) がトリエタノールアミンを浸み込ませた濾紙をシャーレの底に貼りつけて環境測定に実用化した。

更に3年後、川崎市公害研究所の佐藤静雄ら（公害と対策, 1977）が濾紙に代えて微粒のガラスビーズとトラガントゴムでシャーレ内に固定する方法を開発し、以後多くの自治体でモニタリングに使われるようになった。筆者自身もこの方法にはいささか関与し

ており（大気汚染学会誌，１９８１）、この方法が受ける温度・湿度、風速の影響を数式化した。３つの気象要因のうち実際のモニタリングにおいては温度の影響が最も顕著であり、日本では平均気温５°Ｃの冬期と２８°Ｃの夏期では反応率が後者が前者の１．４４倍となる。

プレートを大気に暴露するためのシェルターは、降雨と直射日光を避けるため、一定の容積と耐久性を備えていなければならない。又、シェルター内の気動の大きさが測定値に大きな影響を与えるので、通風率は厳密に一定になるように設計・製作されたものでなければならない。インドネシアにおいても日本で多用されている直径１５センチ、長さ２５センチ、ブリキ円筒製、塗装仕上げのものを使用している。これはPbO_2法のシェルターと本体部分は全く同じ物である。ただ、本法では野鳥が巣箱と間違えて侵入しプレートの上に巣作りすることがあるので、円筒下部の開口部にステンレスの金網の蓋を付けたのが唯一の違いである。ブリキ製であるのでインドネシアの直射日光の下では昼間８０°Ｃ前後となる。その結果、日本の四季平均値の１．７倍の反応率となる。シェルターの形状や評価は資料の英文報告に詳しい。

以上の説明で明らかなように本法は１か月間の平均NO_2濃度が求められ、PbO_2と並べて暴露することにより同時にSO_2とNO_2をモニタリングすることができる。暴露法による大気測定は人為的な誤差が低く抑えられる点が最大の利点である。キャリブレーション、吸収液調製、流量制御など全く必要としない。強いていえば暴露期間の記録を忘れられる位のものである。それくらいラフなことをしていてもなんとかなるくらい誤差の入り込む隙の無い方法である。試料の表面を爪で引っ掻いたり、ビニール袋に入れたものを輪ゴムで密封するのを忘れるようなことは今まで経験が無い。サンプルを取り替えてオフィスやラボに持ちかえり、１か月も２か月も引き出し等に仕舞たまま放置されていたのを見つけて送ってくる。或いは毎月送るのをさぼって２～３ヶ月分纏めて送って来る、というような事はあるようだ。しかし、分析値に与える影響は致命的とまでは行かない。

これくらいのことにめくじらを立てていたのでは究極の目的は達せられない。何事も経験の積み重ねが大切である。３年、５年と続けて行くうちにモニタリングとは何なのか少しずつ分かって呉れるものと希望を持たねばならない。データを纏めてコメントをつけて送り続けているうちに自分たちの役割を認識し、本当にこの仕事の一員となる。モニタリングを定着させるには息の長いアシストが必要である。この様にこの業務を続ける事により地方ラボスタッフを取り込んだ全国的な活動を展開することができ、彼らを環境モニタリングに参入させる糸口にもなっている。時々それらの地方職員をＥＭＣに集めて試料調製から比濁法（PbO_2分析）、比色法（ＴＥＡ・プレート分析）の分析の実地トレーニングも実施している。これまでに集団コースで６回、一人か二人でラボに入り込んでの自

主トレーニングに派遣されて来る者もある。大学や専門学校から来る者もかなりの数にのぼる。

集団コースは始めＪＩＣＡ予算のみであったが２年程前からＢＡＰＥＤＡＬもその意義を認め、独自の予算を取るようになった。ＪＩＣＡ専門家の帰国と共に事業が絶ち消えとなったり、動いていた機器が止まってしまうようでは何のための技術移転だったのかという事になるが、本法に関してはその心配はない。既に地方ラボで独自に地点を増やしたいのでシェルターとガラスビーズを分けて呉れという要望が数カ所から来ており急遽シェルターを追加発注したところである。

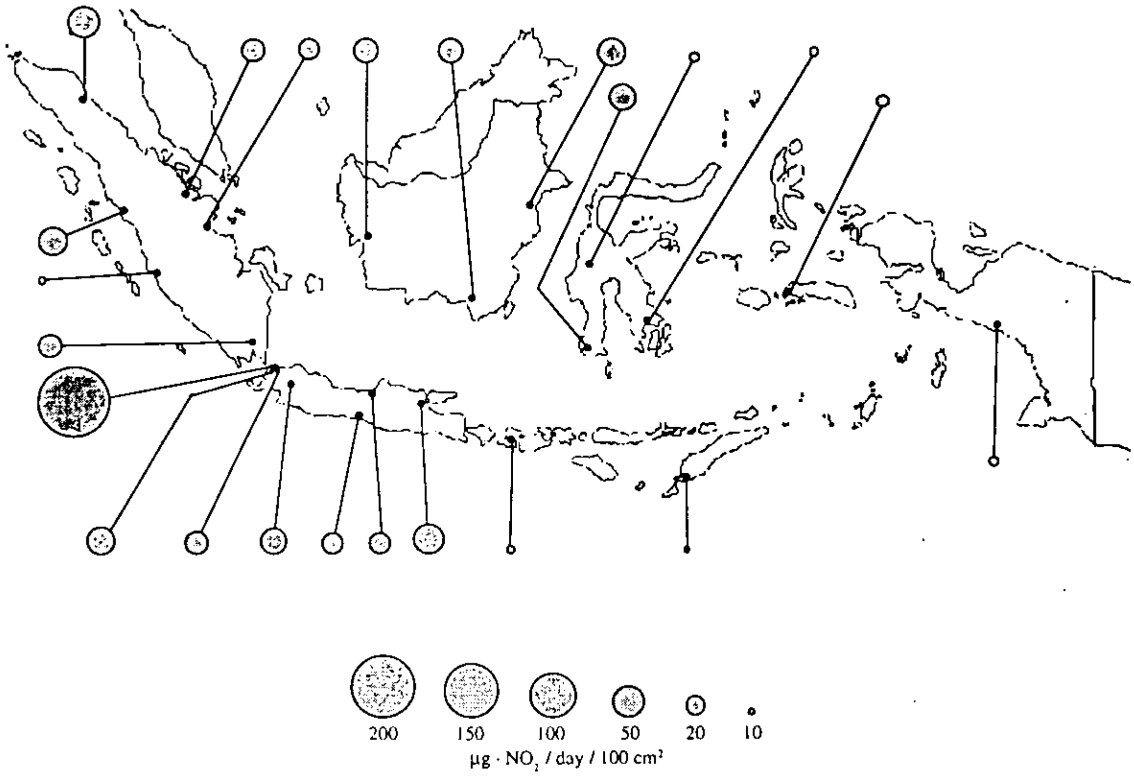
このＴＥＡプレート法による暴露試料の分析に要する時間は全国から集められてくる５０程のサンプルでも１日で十分可能であり、負担は小さい。消耗品のコストもガラスビーズを除けば僅かなものである。ガラスビーズは高価であるが、洗浄して再使用ができる。シェルターも１０年くらいの使用に耐える。経済的な負担の極めて少ない大気汚染測定法である。現在、最大の負担は輸送費である。測定結果、プログラムの実施要領、データの解析結果の詳細は資料の英文報に詳しいので此処では得られた全国州都の汚染分布図のみ示す。

産業規模の小さい現状ではNO_2濃度は地方都市のモータリゼーションの進行の度合を反映したものとなっている。最高は言うまでもなくジャカルタ・タムリン通りのＪＩＣＡオフィス屋上の３９ｐｐｂであり、ジャカルタ市全体の平均値は幹線道路際のＪＩＣＡステーションの６０～７０パーセントにあたる２４～２７ｐｐｂと推測される。他の主要都市、スラバヤ、バンドン、（何れもジャワ島）メダン　（スマトラ島）等人口３００万都市はジャカルタの約３分の一ないし４分の一であり、州都でありながら２ｐｐｂ以下の都市が全体の３分の一を占める。

2.2　ザルツマン法

SO_2測定におけるパラロザニリン法に対応するのがNO_2測定におけるザルツマン法である。ＴＥＡプレート法による一箇月平均濃度を補完して時間変動の測定、特定の場所での短時間の調査、大気自動計測機の測定値のクロスチェックに簡単な道具立てで大気中のNO_2濃度を測定することができる。但し、この方法はサンプリングと同時に発色反応が進行し、１０分そこそこでアゾ色素を生成するので長時間サンプリングを続けると生成したアゾ色素が酸化分解し、褪色するので測定値は低くなる。通常、６０分がサンプリングの限度であり感度が高いので１０ｐｐｂのNO_2を検出する事ができる。重要なポイントは吸収速度が遅いので吸収管には最大孔径が５０μｍのバブラーを用い、0.３ｌ／ｍｉ

nの速度でサンプリングを行う事である。試料空気は細かい泡になって吸収液に溶ける。



出典：NO_2 concentration in local cities in Indonesia[4]

図15.2　NO_2 pollution map in Indonesia

これまでインドネシアではこのザルツマン法が環境基準判定のための測定法に規定されていたため幾つかのラボで実測が行われていた。しかし、その方法はWHOの定める２４時間連続サンプリング、しかも吸収管に先端がノズルになった普通のインピンジャーを用いるので測定値は吸収効率から真値の三分の一に落ち、長時間連続サンプリングによるアゾ色素の分解により更に三分の一以下に落ち、測定値は真値の１０分の一程度になる。この様な無意味な測定を１０年以上も続けて来たラボもある。しかし、結果が余りにも低いのでデータは秘匿していた。筆者がジャカルタに赴任したときには既にザルツマン法の大気自動計測機やケミルミの大気自動計測機が導入されていたので、おかしいなと感じていたようではあるが大気自動計測機も信頼に値する物とは言えなかったので担当者は悩んでいたようである。

どうしてこんな馬鹿げた方法で測定しているのかと尋ねると、インドネシアの環境基準測定法に規定されているという。その基準法はＷＨＯの指導によるものだと言ってＷＨＯがだしたマニュアル本を見せてくれた。見るとＷＨＯは２４時間連続サンプリングせよとは言ってないが、サンプリングのリミットについてはなにも述べていない。大気の評価は２４時間値ですべきと教えられている者は何も記述がなければ２４時間連続で行うことになってしまう。操作方法だけ示してポイントになるコメントを付けなかったら危険このうえない。吸収管はインピンジャーの図がはっきり書いてあった。そのマニュアルを作った人は測定の経験の無い人で、SO_2 やNH_3 など吸収液に溶けやすいガスもNO_2 のように溶けにくいガスも一緒くたに考えたのであろう。無責任極まりない。サンプラーなども供与して測定を依頼したと思われるので当然データも一部は集まっているはずである。各国から集められてくるデータを見た時に何と考えたのであろうか。

しかし、救いはあった。ジョグジャカルタというジャワ島の東の方にある古都に環境分析をかなり手がけているラボがある。そこを９３年の秋に訪問した時、４０歳代のベテラの女性スタッフから質問を受けた。彼女はNO_2 の測定を続けているうちにサンプリング条件によって測定値が大幅に変動する事に気が付いたようである。どうもインピンジャー一本では集めきれないようだからマニュアルには書いてないが3本連結してサンプリングしてみたら2本目にも、3本目にもNO_2 が検出されてくる。それ以上繋ぐのはポンプの容量もあって難しいので3本繋ぎで週1回２４時間サンプリングを行っているという。その場合濃度はどうして計算したらいいか、というものであった。又、２４時間連続サンプリングした場合の発色液の色が1時間サンプリングの時の色と違うことにも気がつきサンプリングはインピンジャーを氷水につけるという配慮までしていた。さすがの彼女も捕集が等比級数になることまでは気がつかなかったようである。

権威に盲従しているととんでもないことになる。特に権威ある組織というのは危ない。権威者と言うのは概して実務に疎い。実務のためのマニュアルは実務に強い人が作るべきであるが例えそういう人がメンバーに入っていたとしても一般に発言力は弱い。学識経験者と呼ばれる御老人の鶴の一声で肝心な部分は決まってしまう。一旦決まってしまうと事務方に任せてしまって自分たちが決めたことが正しく記載されているか確認する努力を怠ってしまう。権威に頼っていたら真実は見えてこない。信頼できるのは自分だけだ。書いてある物は参考資料に過ぎない、自分の方法を確立せよ。これが日頃筆者がスタッフ達に言っている言葉である。

たとえば、ＪＩＳ等のマニュアルで或る物質の分析に２０の操作が記載されているとする。それらの操作はすべてが同等な重みを持っていることはありえない。通常、測定値の９０パーセント以上を支配するのは4つか5つの操作であとの１５、6は残りの１０パー

セーントの為の物となる。機械の部品が１０パーセント違ったらこれは使いものにならない。しかし、環境分析では２０パーセントは許容誤差である。こういうと、誤差は少なければ少ないほどいいではないか、より完全を求めるのが研究者の態度ではないかという反論がある。そういう人がどれくらい精度の高い分析を行っているかとくと拝見したい。人間はロボットと違う。ロボットなら例え０．１パーセントの誤差でも抑えられるものら抑えるようにセットすればいい。精密機械ならミクロンのレベルまで制御する事も可能であろう。

しかし、環境試料は先ず恐ろしく低濃度であり種々の妨害物質が混在している。サンプリングの過程で吸着したり分解したり逆に生成したりする。サンプリングしたあとも分解、吸着等の変化は必ず起こる。完璧主義者はもう自滅である。自滅しないためにはマイナーな誤差を思い切り良く切り捨てることである。ＪＩＳにはこの切り捨ててもよい操作と重要な操作の区別が書かれていない。２０の操作を同じ比重で求めている。これを途上国にそのまま持ってくるべきではない。日本人の相当優秀な人でも英語版のＪＩＳをみて自分が今までに経験の無いサンプルの分析をやれと言われたらできるであろうか。日本人でさえ逃げ出すようなことを途上国の人に求める愚かしさに気がつかなければならない。仮に手取り足取り教えてそのときはできるようになったとしても、２、３か月もすれば完全に忘れてしまう。これがポイントが絞ってあれば忘れにくくなる。操作はポイントだけに絞ってマイナーな部分は解説に直してやればどれほど取っつきやすくなることか。

基礎教育のレベルを無視した技術移転は砂上の楼閣を築くだけである。自動車の修理、ラジオ・テレビの修理要領をマスターさせるのとはわけが違う。部分だけなく、全体が見渡せる能力が育たないと本物の環境研究者にはならない。基礎から積み上げて行った場合はたとえ完成の域まで達しなくても後輩に、次世代に受け継がれる。かつてのメキシコではアメリカＥＰＡの指導でＰＭの鉛の分析を行っていたが、研究者を育てるのではなく流れ作業の工員と同じように一工程毎の作業を教え込だのでデータを評価できる者がなく、行政官だけがデータを握っていた。行政官ではデータの信頼性を判定できず疑心暗鬼であった。ラボをデータを製造する工場としか見ないと優秀な人材が集まらないしラボとしての能力の向上も期待できない。

さてザルツマン法の実施にあたって最大のポイントは３００ｍｌ／ｍｉｎという低流速をいかに安定して得るかと言うところに在る。積算流量計を用いるのは最もてっとり早い方法である。しかし、これとても遠隔地まで出掛ける場合は結構な荷物になる。ハンデーエアーサンプラーでいかにして安定した流量を維持するかを体験させる。ここで色々な試行錯誤を繰り返す。この過程で学ぶ自然の原理・法則はは確実に技術を向上させる。吸収バブラーのグラスフィルターの孔径の粗いものは吸収効率が低下する。また、細かすぎた

り目詰まりした物はバッテリー駆動のサンプラーで流量が得られなくなる。バッテリーを新しい物に交換しても流量が得られないときは、目詰まりを疑って見るべきである。これを無理に力の強いポンプで引くとリークを起こしたり特定の孔だけを試料空気が通るようになり吸収効率が低下する。泡の立ち具合を日頃よく観察していれば判断できる。吸収効率が測定値に大きな影響を与える事は前に述べた通りである。時には数本並べて同時測定を行いデータを比較すべきである。１０パーセント、２０パーセントなんてものではない。不良品は半分のデータしか得られない事もざらである。こういうポイントはＪＩＳには書かれていない。

フィールドではサンプリング地点周辺の地図、サンプリング時間、風向・風速、交通量などの必要情報を記録する。風向・風速は計機があればそれに越したことはないが、たとえば１センチ角の紙片を目の高さから落下させて落ちた方角と距離を記録しておくだけでも結構な目安となる。工場周辺の調査であれば燃焼施設の種類、規模、可能であれば１日当たりの燃料使用量その他の情報を工場責任者より聴取する。サンプリング後現場で吸光度が測定できるように簡易分光光度計を現場に携行する。電源が得られにくいと予想される場合はバッテリー駆動のものが便利である。廃液はポリ瓶に移して持ちかえり大量の水と共に流しに捨てる。

３．降下ばいじん測定技術

英国では１９１２年に大気汚染委員会が組織され、降下ばいじんの測定が本格的に開始されている。この時に現在の英国規格デポジットゲージが用いられている。（Ｓｈａｗ ＆ Ｏｗｅｎｓ；Ｔｈｅ Ｓｍｏｋｅ Ｐｒｏｂｌｅｍ ｏｆ Ｇｒｅａｔ Ｃｉｔｉｅｓ，Ｌｏｎｄｏｎ １９２５）産業革命期以降、英国では大気汚染の指標として降下ばいじんの測定が行われていた模様である。同書には英国各地の測定データが掲載されている。日本においても昭和１０年代にいち早く煙の都大阪で測定がスタートしている。昭和２０年代になると全国の産業都市で測定が開始され、大気汚染の歴史をひもとくと降下ばいじん測定が果たした役割は計り知れない。川崎、宇部で百トン以上の降下ばいじんが計測されたのはそんなに昔のことではない。この様な地道な仕事がどこの途上国でも最初に手がけられるべきであったのにデータを探しても見つからない。

この測定がこれまでに途上国各国に技術移転されていれば各国の大気汚染のレベルはおよそ見当が付けられるし、それぞれの国での大気汚染の経過もたどることができるのだが残念な事である。使えない高価な大気自動計測機はどこの国へ行っても必ず１つや２つあるのに何分の一かの値段のデポジットゲージが無いというのは何故であろうか。ＯＤＡは

物より人だと耳にたこができるほど聞かされるが、これは日本ばかりでなく全てのドナー国に共通しているのであろうか。好意的に見るとデポジットゲージは大気自動計測機ほど見せがいが無いので何処かにしまいこんでいると考えられないこともない。それにしてもデータが無い。

液クロやガスマスを供与された途上国の環境ラボのスタッフ達はベンツピレンだのPCBだのの測定技術を移転される。彼らのレベルは多くTSP（総浮遊粒子状物質）さえも正しく測定できるレベルに達して居ないというのに。ハイボリュウムエアサンプラーでグラスファイバーフィルターに採取したTSPを天秤で量り、濃度を計算するという作業さえ正しくできる途上国環境ラボはそんなに多くない。そのため国際機関が発表するTSPデータは信じられない。その原因はサンプリングポイントが考慮されていないため車の走行に因って巻き上がる土砂を拾ってしまう。粒子の測定だからと言って道路端にハイボリュウムエアサンプラーを設置する。道路は路肩が未舗装である場合が少なくないし場合によってはこの未舗装の所をトラックなどが追越しのため走る。そのとき生ずる砂塵は猛烈である。

浮遊粒子状物質（PM）の定義をしっかり認識していない者は一時的に空気中に舞上がった粒子も永続的に大気中に浮遊している粒子も同じに考えてしまうのは致し方ない。色々な国際機関やドナーのアドバイザー、専門家が怠慢であったか、声が小さかったか不明であるが何れにしても途上国の人達は分かっていない。だからWRI（世界資源研究所）の発表するTSPのランキングは道路舗装率に逆比例する。中国、インド、インドネシアときて、そのあとイラン、タイと続く。このWRIのデータブックは環境国際機関のトップに君臨する権威あるUNEP（国連環境計画）の報告書がソースである。もう一つ秤量もあぶない。恒量が分かっていない。

そういう基本的な事をしっかり教えずに彼らにハイボリュウムエアサンプラーでサンプリングさせ、そのフィルターを自分のところに送らせて分析し、発表している環境研究者が先進国にいっぱいいる。このようなレベルの人にベンツピレンの分析法を教え込むことが如何にナンセンスなことか。途上国の環境ラボは研究のための研究などやる金も無いし、暇もない。すぐにでも行政を支援するデータを求められているのだから。自分でサンプリングして持ちかえり正確な分析結果とコメントを付けて提供してやるのが一番役に立つ。昨年タイのバンコクで開かれたASNEMのワークショップはPAH、すなわちベンツピレン等の多環芳香族炭化水素をテーマとする物であった。PAHとは何かという勉強会であればまだしも、分析を将来手がけるとっかかりとする会のようであった。PAHに飛びつく前に降下ばいじん中のタール総量を求めた方が余程信頼できる。不思議なことに日本にもアメリカにもPAHと降下ばいじん中のタールやTSP中のタール分との相関を出し

たデータが無い。多分非常に高い相関が認められると思う。

途上国の人達は先進国で今やっていることを自分たちも遣ってみたいと考える。これは当然の事である。この要求をストレートに満たしてやるのが専門家の仕事だと考えたら大変な間違いである。彼らは物事に順番があることを知らない。それを相手に教え、納得させなければならない。NO_2 や SO_2 が正しく測ることのできないラボでPAHの測定などありえないことを理解させる為には大気汚染の基礎理論、先進国が辿ってきた道のりをきちんと教える事から始めるべきである。できるものなら最初3年間位は実際の測定分析より理論と基礎教育、特に数学と作文、文章で自分の考えを相手に知らせ説得できる能力の向上に向けるべきだと最近つくずく思っている。数量の概念と思考する習慣を鍛える。これが将来本物の研究者に育て上げる正道である。

現在EMCプロジェクトが突き当たっている最大の壁は基礎教育の部分を怠ったまま実際的な測定分析の技術の移転に集中してきたためカウンターパートが日銭稼ぎの依頼検査に走ってしまっている事である。1泊2日でバンドンまで出掛けて測定をしてくると1か月分の給料と同じ額の手当てが入る。普通、2泊3日時には1週間、2週間ということもある。手当てがタッフに入ると共に高官には莫大な検査料が入る。だからいくら制限せよと言っても馬の耳に念仏である。この依頼検査のデータをチェックできる人間がいれば依頼検査と言えども厳しい仕事になり技術の向上に資する所があろうがデータは全くのフリーパスである。筆者には困ったときだけ聞きにくる。この困ることが時々あれば幾らかでも彼らの将来に役立つのだが、依頼検査でする事は決まりきっているので知らないうちに検査結果を出してしまう。その成績書は見せたがらない。依頼者が手強い時などに時々伴って来るくらいのものである。結構、要領は心得ている。

つい先日も工場周辺でサンプリングした試料の炭化水素濃度を測定したいが、あいにく炭化水素計がアラームを出しているのでみてくれというので取説を10回も読めば必ず直ると突っぱねたところである。専門家たるものはカウンターパートの生活を無視しては指導は出来ない。知っておくに越したことはない。インドネシアの役人の給料は基本給は極めて低く抑えてあり働き口のない人を何時でも受け入れられるようになっている。役所の大部屋にいる人の多くは机だけで、書類もタイプライターもない。一方、コンピュータを机に置いた女性秘書は結構エライ人なのである。きちんとした仕事があるから。専門家は秘書を無視しているとしっぺかえしをくらう事になるからご注意を。彼女たちの情報伝達力は役所の中では飛び抜けている。ダイレクターや次官は有能で美人の女性職員を日頃からそれとなく物色し、機会があれば引き抜くこともあると聞く。

低い基本給を補うには金儲けをしなければならない。公然と金儲けのできるところと言

えばＢＡＰＥＤＡＬの場合、検査料の入るＥＭＣしかない。そこで、ＢＡＰＥＤＡＬの高官を通じて依頼検査が次々に来ることになる。たまたま、きょうの新聞（Ｊａｎ．３０，９７，Ｊａｋａｒｔａ Ｐｏｓｔ）にも通商産業省で税金のかからない１，６００万ドルの収入が予想され、それは省内の諸活動に使用され国庫には入らないということが明るみになったと言う記事が出ている。稼ぎの少ないところは基本給だけに甘んじなければならない。基本給は国の定める最低賃金とほぼ同額、仕事をすれば手当てで報いる。合理的と言えば日本の役所よりよほど合理的である。一日に書類を一枚書くだけでも一人前の給料が貰え、他人の４～５人分の仕事をしても雀の涙ほどの残業手当てが付くに過ぎない日本のシステムの方がおかしいのかもしれない。日本の組織体は封建時代の名残で社員、職員は大きな一家の藩臣である。藩主は藩臣が路頭に迷わないようその妻子のめんどうまでみなければ世間の非難を浴びる。そこで能力のある者も無い者もそこそこ平等に処遇されるということになる。

しかし研究所で、しかもＥＭＣのように誕生間もなくこれから研究所としての能力を向上させて行かねばならない所でこれが昂じると金が入らない仕事はやらない、と言うことになり単なる検査機関に終わってしまう。国家行政を支えるシンクタンクにならねばならないところが小さな金儲けに目が眩んでいたのでは大変な損失である。モニタリング、データ整理、レポート作成、調査研究活動にも依頼検査と同額の手当てが支給されるように予算を獲得しなければならない。環境モニタリングに相応の予算を取り、担当者に公平に配分して始めてモニタリングは軌道に乗る。ＯＥＣＦのローンで地方ラボに環境モニタリングに必要な機材が入り、地方ラボ職員が十分な能力を付け、それに必要な予算が組まれる。この三拍子を整える為にはＥＭＣの中でいくら大声を出しても届かない。行政のトップクラスに粘り強い働き掛けを続けて始めて実現の方向に向かうのである。ＪＩＣＡ専門家は技術移転さえしていればいいでは済まされない。其処で、行政官庁に入っている欧米人ドナーとの協力が大きな意味を持ってくる。

ドナー間の協力で最大の障壁は途上国政府との関係である。政府高官達はドナーが強い協力関係を持つことを恐れる。バラバラのドナーが幾つあっても高官達に取って恐ろしい存在ではない。ところが、二つ以上のドナーが団結してものを言うようになると個別の場合は無視できることでも無視できなくなる。仕事が大きくなればそれに応じて金額も大きくなる。自分一人の裁量で動かせた金も自由を束縛される。これでは高官にとっては居て貰いたくないドナーとなる。従って、ドナー達が集まって会議を持つような事は難しい。ここらを胸に納めたうえで遣らないと足を掬われることになる。欧米人同士は長年の経験でこのあたりの阿吽の呼吸を十分心得ているので勇み足を食うような事はしない。

さて、降下ばいじんのデータの有効性は先に述べたが、降下ばいじん測定をすることの

メリットはもう一つある。それはあの重い雨水をサンプリング地点まで出掛け、回収するという作業一つ取っても実物に触れると言う点で大気自動計測機の測定では得られない生の体験となる。色々な粒径、色、形を観察して周りの環境との関連を考える。先進国の環境研究者は汚染が一段落した今は機器の中に埋没してしまって五感を働かせる機会が少なくなってしまっている。専門化が進んで狭い領域のことしか興味がない、知らない、と言う人が増えてしまった。これでは広い視野で環境をみて発言してゆかなければならない環境の専門家としては失格である。全体が見渡せてかつ専門領域を深めるのであればよいが、そういう人は少なくなってきた。機器で自動分析してコンピューターで解析し、現場は良く知らないと言う人の話は信用しないことにしている。

ところが途上国の人達は日本人以上にカッコ良さに憧れる。一見高尚そうに見える仕事は重要な仕事で、泥くさい仕事は価値の低い仕事と決めつける傾向が強い。たとえ自分はそう思っていなくても周りの人がどう思うか考えて見栄えのする事を遣りたがる。途上国の多くのラボで働く人達は国民大衆からみれば上流階級の部類に属する家庭の出身者である。重い瓶を担いだり、油で手を汚すような事は使用人たちの仕事で自分でやったことはない。自分が食べた食器だって洗った経験がない。日本流に言えばお嬢様、お姫様である。そのおひめさまが２０キロもある汚いポリ瓶を運ばなければならない。これは大袈裟に言えば彼女たちに意識革命を起こさせる。研究所のスタッフと言えば白衣を着て高価な分析機器をあやつるカッコのいい仕事だと憧れて入所してきた夢を叩き潰すのがＪＩＣＡ専門家の重要な仕事となる。

少し様子が分かって来ると彼らから出る言葉は降下ばいじんの測定は他の国でやっていない古めかしい方法でなぜインドネシアで今から始めなければいけないのか、測定値はｐｐｍで表せない単なる指標値に過ぎないではないか、と言った類のものである。この質問に正しく答え、納得させることができないとこの仕事はそこでストップしてしまう。なんせ苦労してやっても金も入らない、周りからもうらやましがられるような仕事とみてもらえない。彼らは今でも大気自動計測機を自分たちだけでオペレートし続けられると考えているようである。このオペレートし続けられると彼らが安易に考えてしまう原因は彼らの余りにも弱い数量感覚からきている。実験に因って生ずる誤差を認識させることは何にも増して優先させるべきである。

たとえば今朝、PM（Ｐａｒｔｉｃｕｌａｔｅ　Ｍａｔｔｅｒ）の担当者と話したことであるが、現在天秤室の湿度コントローラーが故障しているため室内の湿度が大幅に変動する。ミリポアフィルターに補集したＰＭを測定するのであるが、天秤の指示値が０．５ｍｇ幅で変動するという。その原因が湿度の影響なのか、気流の影響なのか確認してないが。夫はさておき０．５ｍｇの変動は測定値に最大何パーセントの誤差を及ぼすかと

問うたが返答は得られなかった。１０ミクロンカット付ローボで通気流量 20 l／min、２４時間サンプリングで連日測定をしていれば補集されるＰＭの量は１ｍｇから２ｍｇの間であることが頭に入って居ないようでは何を考えて毎日仕事をしているのかと言われてもしょうがない。数量感覚が発達していれば覚えようとしなくても自然に頭に入ってくるものである。

先日、ジャカルタ湾に浮かぶレジャーアイランド、プラウ・スリプと呼ばれる所で環境保全対策に関するセミナーが開かれた。そこでＥＭＣのあるスタッフの講演要旨の中に室温測定結果の表があった。その測定値をみると27.5、 28.2 、 29 、29.3、29.6、30、と記載されている。そこで、この29というのは29.0のことかと質問すると、きょとんとしている。これだけ身近な事でさえ実感がないのであるから、サンプリング誤差、抽出誤差、秤量誤差などを推定して有効数字のケタ数を決めよと何度言っても理解出来ない筈である。分析は常に誤差との戦いである。大気分析で２０パーセントは許容誤差だと言うと一般の人はラフな仕事のように思うがこれは厳しい数字である。

例えばＳO_2の測定をパラロザニリン法でハンデーエアーサンプラーを用いて行うとすると採気流量で５～１０％の誤差は避けられない。吸収液への補集効率で５～１０％、、補集後分析までの間に生ずる分解で５～１０％、分析の過程で５～１０％、と誤差が積み重なれば２０％に達してしまう。誤差は相殺されるばあいもあるが、積み重なる場合もある。積み重なった場合を想定して対処すべきである。２０パーセントの誤差が推定されれば測定値は有効数字２ケタがやっとの筈である。これを繰り返し言ってもなおＮO_2の測定結果を３．４６５ｐｐｂなどと書いて持ってくる。小数点以下を抹消してやると不満そうな顔をしている。上記のセミナー参加者で本当に質問の意味が理解できた者がどれほどいたであろうか。

大気自動計測機が刻々データを打ち出す環境の中に居て降下ばいじんの分析など時代遅れと考えてしまうのは当然と言えば当然である。但し、夫には大事な前提条件がある。それは大気自動計測機が何時も正確な測定値を供給してくれるという。しかし、大気自動計測機を正常に作動させることは並大抵の事で無いことは繰り返し述べたとおりである。この並大抵ではないことを彼らに実感させるためにはトラブルが生じても手助けしてやらないこと。夫によってデータが一時欠測になったとしても、トラブルを克服する努力を彼らがすれば其処から得られるものはずっと大きい。今はデータより本物を見つけだす手助けをしてやる時だ。ルーズになった筆者の言い訳でもある。

降下ばいじん量のモニタリングがいかに環境分析の入門者に有効かを導入に当たって認識を新たにされたい。モニタリングデータが重要であるのに劣らずルーチン化する事によ

って得られる教育的効果は大きい。途上国の科学教育は多く欧米の教科書の受け売りの講義が中心をなしており、実験の割合が小さい。高価な分析機器が手を触れてはいけない科学館の展示品と同等扱いになるのはある程度止むを得ない。破損しても教師が直せないし、業者に来てもらえば眼の玉が飛び出る現状を考えれば。しかし、試験管、フラスコ、ビーカー天秤など最小限の機材を用いる操作も経験することなく大学の理工学部を卒業してくる。降下ばいじんの分析においては先ず第一に濾過が必要である。アスピレーターを用いて吸引濾過の方法を教え、1、2か月経ったある日、担当者が濾過作業をしているのをみると20リッターほどのサンプルがまだ半分も残っているのに既に濾紙が真っ黒になり濾液が滴下レベルの速度になってしまっている。それをどうしたら手早く濾過できるようになるか考えようとしない。

これが従来のインドネシアの文化なのであろう。自分は定められた方法にしたがって作業をしているのであってそれ以上なにをあくせくする必要があろうかと。物事は自然にしたがって生きるべきで、定められた方法を自分で勝手に改良するなどむしろ悪であると考えているのかもしれない。黙ってみていると一週間経っても一つのサンプルの濾過が終わらない。莫大な水と時間の浪費である。そこで、20リッターのポリ瓶からいったん2リッターのビーカーに上澄み液だけを移し、上澄み液だけを最初に濾過し沈澱物は最後まで残せと言って翌日行くと相変わらず濾過を続けている。ビーカーのサンプルを綺麗に全部流し込んでしまったのである。ビーカーには上澄み液を入れたのだから夫は全部濾過してもいいと思ったようである。

かように濾過一つからでも学ぶところは多い。自然の原理を分析の基本操作から学ぶ、これは本物である。文化に基ずく思考方法を科学的な思考方法に変えていく。大学などの教育機関では文化と調和の上になされてきたように思える。ひげを生やし、威風堂々と講義をし、実験などに手を出さないのがエライ先生として学生から尊敬されるのかもしれない。降下ばいじんの分析ではボタン操作では行えない基本操作が求められ、これが正しく行われないと測定値は信頼できないものとなる。濾過が終わった濾紙を天秤にかけて不溶解性物質総量を求めるまでの操作を見ていると次々と思いもよらない発見をする。濾過が終わった濾紙を先の尖ったピンセットではぎ取ろうとする。案の定濾紙はピンセットに小片を残してはぎ取りに失敗する。その小片をどうするか見ていると、ごみ箱に捨てようとするではないか。濾紙の端が白く、粒子が付いてないので測定値に影響しないと考えたようである。あるいは失敗を見つからないようにと慌てたのかもしれない。

このような現場を目撃したときは日本であればその場で注意するのが効果的であるが、インドネシアの場合は余程気心が知れ、周りに人が居なければ冗談を交えながら注意をすることも出来るが、先ずは避けるべきである。彼らとのコミニュケイションを良くするに

は冗談無くしては不可能と考えた方がよい。そのあと濾紙の乾燥、秤量と操作は続く。乾燥には概して時計皿など小さな容器を使いたがる。１０グラム程の試薬を量り取るときも５、６センチの時計皿を使って山盛りに盛って量っている。試薬を秤量するときは時計皿を使えと教えられたことを忠実に守っているのだろう。これも誤差の観念が無いことから来ている。秤量ではサンプルが恒量になるまで４回は繰り返せと言うと、４つの測定値の平均を取っている。

以上のような基本的な事は教科書に書かれていなくても、また人から教わらなくても自然に体得されて行かないと本物とはならない。タール分の測定ではアセトン抽出を行うが、フィルターを適当に折り畳んでソックスレー抽出を始める。濾紙表面の粒子が遊離して受器に落ちても疑問を感じない。ソックスレーをセットしてヒーターをオンにしたら仕事は終わり。あとは何が起ころうと私の知ったことではない。じっと観察するという習慣・興味は希薄である。この観察眼が身につくと実験の精度は大幅に向上するし、大気自動計測機など大抵のトラブルは自分で直せるようになる。一つひとつの実験操作でじっくり観察し、その結果を考察する。これが出来るようになれば一人前である。

デポジトゲージとダストジャーの比較、ジャカルタとＥＭＣにおける測定結果は資料の英文報に詳しい。

４．固定発生源ＰＭ測定技術

煙道中の粒子状物質（Ｐａｒｔｉｃｉｌａｔｅ　Ｍａｔｔｅｒ，ＰＭ）、日本では広くダスト（Ｄｕｓｔ）と呼ばれるが室内のほこり、砂ぼこり、紙屑まで英語ではダストである。誰が最初に命名したか筆者の知るところでない。これを補集するホルダーはダストチューブ呼ばれている。しかし、測定の対象はあくまでも燃焼によって生ずる微粒の粒子状物質である。粒子状物質であればＰｒｔｉｃｕｌａｔｅ　Ｍａｔｔｅｒと表現すべきであろう。ちなみに米国環境保護庁のテストメソッド（Ｍａｎｕａｌ　ｏｆ　Ｔｅｓｔ　Ｍｅｔｈｏｄｓ，１９９５　Ｅｄｉｔｉｏｎ）によれば、Ｐａｒｔｉｃｕｌａｔｅ　Ｅｍｉｓｓｉｏｎｎｓ　という用語を使っている。又、国際規格ＩＳＯ－９０９６ではＰａｒｔｉｃｕｌａｔｅ　Ｍａｔｅｒｉａｌが使われている。ＪＩＳの委員会は年に何度も開かれ、測定法の精度向上のため討議が行われていると思うが、この用語が不適切との指摘がこれまでどの委員からも発議されなかったのであろうか。

慣習的に用いられてきたとおもわれる言葉を一度ＪＩＳの正式用語として採用した以上おいそれとは変えるわけに行かない。この一語を変えるとＪＩＳの書き直しが大変な作業となる。それを恐れているのだろうか。しかし、英語で技術移転をおこなうとこのダストは引っ掛かる。同じことがＳＰＭという用語にもいえる。国際的に広く使われているＴＳＰとＳＰＭの差は何なのか。やはりこれも分かりやすいＰＭ－１０にすべきでないか。質

問されると日本の島国根性の恥を曝さねばならない。今やＰＭ—２．５の時代に突入している。日本語表記は塵埃であろうと粉塵であろうと粒子状物質であろうとかまわない。しかし、カタカナ用語はネイテブに従うべきでないか。

ＥＭＣは環境プロジェクトの中で最も成功した例であるというので実に多くの来訪者がある。それらの多くは環境をテーマとして研究していると言う触れ込みでやって来る。折角インドネシアまできたのなら大気のスッタフと意見の交換も少しはしてくださいとミーティングルームに引っ張り込み、大気汚染の話を始めるとその余りにも貧弱な知識にしばしば驚ろかされる。それが大学の研究者であったり、高名な研究機関からきたのだと言うと筆者の方がはずかしくなる。後からスッタフ達に彼らは実は日頃は別の分野の仕事を専門としている人達で大気分析に関しては門外漢なんだよと言い訳をしなければならない。

資料のＰＭ測定法は筆者の経験にもとずいて誰からも指図されずにドラフトした物である。要請はＢＡＰＥＤＡＬの大気ダイレクターからあったが、文章そのものはすべて筆者のオリジナルである。拝借したのは図の一部だけである。大気汚染学会とかＪＩＳ委員会等の承認は得ていません。これがインドネシア環境管理庁の大臣令として近く出ます。大臣令ではすでに排出基準値は主要４業種、石炭炊き火力発電、鉄鋼、セメント、パルプを対象として出されたが測定方法をＥＰＡメソッドをそのまま持ってくると問題点が色々でてくるのでＥＰＡメソッドは御真映に掲げておいて実質的な方法と２本立てで出すことに数回に亘るアドバイザー、専門家をまじえたＢＡＰＥＤＡＬ内の検討会の結果決まったのである。

煙道中のＰＭの測定の基本事項となるのは等速吸引である。日本の研修機関へＥＭＣ発足前に行った事のあるスッタフはＩｓｏｋｉｎｅｔｉｃ　ｓａｍｐｌｉｎｇという用語を知っていた。９３年３月の赴任当時筆者はこの言葉を知らなかったのでＥｑｕｉｖａｌｅｎｔ　ｖｅｌｏｃｉｔｙ　ｓａｍｐｌｉｎｇなどと勝手な造語を使っていた段階であったので、結構豊富なテクニカルタームを知っているのだなあと感心したものである。しかし、しばらく後なぜＩｓｏｋｉｎｅｔｉｃ　ｓａｍｐｌｉｎｇが必要なのかと問うと見当違いの答えしか帰ってこない。特定の用語や断片的な操作方法は奇妙におぼえているのだが肝心の原理が分かっていない。

途上国の技術スタッフのこうした特質を知らない日本人は彼らのこうした断片的な知識にすっかり騙されてしまう。コミニュケーション手段が覚束ない人は尚更その傾向が強くなる。通常彼らの方が英語で話すのは慣れているから圧倒される。そこで機器分析の超微量分析なども彼らにできるなどと思って仕舞う。所が現実は秤量、濾過、抽出、など基本

的なことさえ正しく行える者は少ない。

8等分したサンプルのひとつを１００ｍｌの液体で目的成分を抽出し、その液１ｍｌを分取して分析したら１．６μg在った。もとのサンプルぜんたいには幾ら在ったでしょう、等とやるともうお手上げである。分析のフローがあってその通り遣る場合はなんとか出来ないこともない。しかし、機器に入れるまでの基本的な処理の段階で飛んでもない誤りを冒しているところまでは目が届かない。従ってできるものと信じてしまう。そこで超微量分析といえど教えれば分かると言う。分析のある断片だけを移転したのである。教えられた者は高度な分析を自分はマスターしたと思っているが何のことはない職工さんと変わりない。こんな事はいくらやっても積み上げられて行かない。記憶力は悪くない。むしろ筆者などよりずっと良い。しかし、理解のできていない記憶は時にマイナスに働く場合だってあり得る。原理をきちんと理解している場合は一つひとつは忘れても応用力があるから大きな誤りを冒さないし、類似のケースに役立てられる。此の積み重ねが技術力を高めるのである。

煙道ガスは環境大気と違って大きな慣性を持っており、粒子はガス体の様にホモジニアスに分布していないからだ、とある時教えると良く記憶していて別の機会に尋ねるとＩｎｅｒｔｉａ　ｍｏｍｅｎｔがあるからだ、と答えてくる。良く記憶していたな流石だ、と褒めながらそれでは慣性があるとなぜ等速吸引の必要があるのだと聞くと、Ｉｎｅｒｔｉａ　ｍｏｍｅｎｔ　があるから当然でしょ、とそっくり返っている。それ以上聞くのはインドネシアは何故此処にあるのかと聞くようなもんだ、と言う。この発想の根本を最近自宅の女中との会話で、なるほどインドネシア人の発想はあくまで神にあるのだなと納得したものである。その会話は筆者が今此の世にある起源はなにかと言うものであった。それは海中にある時発生した蛋白質だと答えるとその蛋白質はどうしてできたのだと言う。そしてそれは神様が作りたもうたのだと２人してやり込められてしまった。神の偉大さは日本人の想像をはるかに超えるもののようである。この神にあずける考え方は彼らが窮地に立った時の身の処し方、処世術とも考えられないこともない。

インスペクション目的の煙道測定はその煙源が基準値を超えるＰＭを出しているか否かを判定できればいい。通常は測定値が真値の２分の一から２倍の範囲に在ればさしてかまわない。七面倒くさい方法を求められて実行しないより、たとえかなりの誤差を含んでいても遣った方がよい。これは環境測定との根本的な相違点である。規制のための測定は多少ラフな方法でも頻繁にやれば確実に効果は挙がる。頻繁にやることが発生者により強いインパクトを与えられる。頻繁にやれば多少は要領も分かり測定誤差も低くなる。特に排出基準値に近い発生源に対して効果的である。あぶなっかしい屋根の上、熱い煙道の上、荷物を持って猿梯子を登ぼり、狭くて危ないステージの上で精度の高い測定値を求めるな

どどだい無理な要求である。精度が高いに越したことはない。しかし、測定現場の実情を無視した方法は実際の現場で無視される。

筆者の経験の最初は３０年程前の日本の自治体である。対象施設は大半が清掃局のゴミ焼却炉であった。我々が必要機材を清掃局がさしむけたライトバンに乗せ現場に着くと担当者が出てきて、御苦労様ですと言ってお茶を出してくれる。お茶を飲んでいるうちに焼却担当の技師が集塵サイクロンのスイッチを入れる。測定のとき以外は集塵機は止めてある。集塵機が動き出して１５分位たったところで測定にかかる。グラスウールをつめた硝子製のＰＭコレクターを石綿のパッキンをかませたアダプターに通し、そのアダプターにステンレスパイプをねじこむ。此のパイプに長い耐圧ゴム管をつなぐ。ゴム管は地上に垂らし、地上ではこのゴム管をグラスウールを詰めたミストトラップに繋ぐ。更にもう一本のミストトラップのあと１回転５リットルの湿式ガスメーターに、最後に真空ポンプに繋ぐ。これでＰＭサンプリング装置のセットは終わり。

ＰＭコレクターを測定口に挿入する前に熱電対で温度を測定する。静圧、動圧の測定、等速吸引の計算など一切しない。測定口から見える煙の流れから流速１０メートルと決める、職人芸である。ＰＭコレクターのノズル径から吸引流速を決める。わずか２、３分でサンプリングが始まる。最初、煙道の手前、次ぎにＰＭコレクターを変えて煙道の中央部でサンプリング、更に煙道の奥でサンプリング。これを２サイクルやってサンプリング終了。終了時にミストトラップにたまった水の量をはかってすべて終了。後は荷物を車に積込み、清掃局が用意してくれたおそがけの昼食を食べ、帰途につく。

この時の測定データは一体どれくらいの測定誤差を有していたでありうか。何度も測定したデータにそれほど大きなばらつきがなかったところから推測するに５０パーセントの誤差範囲に入っていたのではないか。この仕事をリードした人は環境の分析に関しては極めて厳しい人であった。旧式の２４連式サンプラーで昇汞食塩水に１時間毎にサンプリングした液を２４個の小さなガラス瓶に集めて分析していた姿は今も忘れられない。当時出始めて間もない導電率法大気自動計測機のメンテも我々若い者には手も触れさせない厳しさであった。筆者の今日あるのは全くこの人のお蔭である。しかし、背中を見ていただけである。大気汚染とはなんぞや、分析の心はこれだ等ということは一切聞かされなかった。それだけ厳しい人が煙道測定に対して取った方法が上記のようなものだったのである。要所はきちんと押さえる。しかし、マイナーな部分は思い切りよく切り捨てる。これが重大なミスを防ぐこつである。

資料に示したドラフトはこの考えを基盤にして書いた物である。最初、日本で受けてきた研修のイメージ、煙道ＰＭの測定は非常に難かしいものだという観念が抜けずに煙道測

定を躊躇していたスタッフ連が今では連日のように測定に出掛ける様になったのはポイントを押さえたこの簡易法ゆえだと自負しているが御批判があれば謙虚に承りたい。

資料タイトル

1. Exercises in Air Pollution Analysis

October 1996 42頁 英文

2. Ambient Air Qaulity Standard (Proposal)

June 1995 1頁 英文

3. Dust Fall in Jakarta and Serpong

November 1996 8頁 英文

4. NO_2 concentration in local cities in Indonesia

Result of the nationwide moniterin**g by** the TEA plate method

November 1996 8頁 英文

5. SO_2 concentration in local cities in Indonesia

Result of the nationwide moniterin**g** by the PbO_2 method

November 1996 8頁 英文

6. Photochemical Air Pollution in Jakarta and Surrounding Area

November 1996 12頁 英文

7. Method of Particulate Matter (PM) concentration Measurement in Flue Gas

March 1995 13頁 英文

8. Procedure for measurement of ambient air pollutants

May 1994 15頁 英文

NO_2: Saltzmann method

SO_2: p−Rosaniline method

Florine compounds: Lanthanum alizarin complexion method

Nitrate : Zinc reduction diazocoupling method

Oxidant : NBKI method

Formaldehyde : MBTH method

Chlorine : o−Tolidine method

以上

XV 製鉄所におけるばいじん・粉じん大気汚染防止技術

■1994. 11～1994. 12, 中国, 中国北京環境局, 短期派遣

今井三博

1. 一般的環境改善設備実例にみる集じん設備システムの種類

途上国においても、公害、作業環境の悪化などによる問題点が大きくクローズアップされている。しかし、問題解決を担う集じん装置にも関心は大きいものの、なかなか設置するまでには結びつかないのが現状である。これはあくまでも集じん装置が付帯設備だからであろうか、それとも装置そのものが大げさでスペースや費用が取れないためであろうか、どちらにしても集じん装置を設置しないで最終的に困るのは、地球上に存在しているすべての生物である。人間はその中で自分で自分の首を絞め、人間の我儘で地球上の生物に多大な迷惑をかけ続けて来た。地球上の生物の一員としてもう少し地球に優しい環境づくりができないものだろうか。

本稿では当社が手掛けてきた集じん装置のシステムについて説明する。
表 13.1 及び**表 13.2** に示すように、対象となる作業別、吸引する物質別に集じん装置のスタイルにもさまざまなものがある。

表 13.1 作業別集じん装置の選定

作業の種類	研磨・切削	サンドショットブラスト	粉砕・混合	篩分	輸送 袋詰・梱包					鋳造	鉱山・砕石	木工	煤煙防止	その他			
対象設備	研磨盤 旋盤 フライス盤		粉砕機 ミキシングロール	各種篩機	袋詰	包装	バケットコンベア	ベルトコンベア	運搬車	鋳込 型こわし 砂処理	カッタドリル	各種木工機	ボイラ 電気炉 焼却炉	キルン・乾燥	溶射・溶接 レーザ切断溶 ガスプラズマ	裁断	防糸・紡績
吸込フード 囲い型	○	○	◎	◎		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		○
吸込フード 側方型	○		○	○	○	○			△	○	○	○			○	○	○
吸込フード 天蓋型			△	×		×		△	△	△			○	○	△	△	△
吸込フード 下方型					△	△				○		○	×		○		
集塵装置 サイクロン・バグフィルタ併用		□	□	◎	◎	◎	◎	◎	◎	□	◎	○	○	◎			
集塵装置 バグフィルタ	□	◎	◎	□	□	□	□	□	□	◎	◎	○	◎	○	◎	◎	◎
集塵装置 サイクロン	○	○	△	△	△	△	△	△	△	△	○	◎	○	○	○	○	○
集塵装置 洗浄 ベンチュリスクラバ	△	△	○	○	△	△	△	△	△	○	○	×	○	○	○	×	×
集塵装置 洗浄 ウォータフィルム	○	△	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	○	○	○	×	×
集塵装置 洗浄 サイクロンスクラバ	△	×	×	○	△	△	△	△	△	△	○	×	○	○	○	△	△
集塵装置 電気	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	○	○	○	×	○

表 13.2 各種集じん装置の性能比較

型式		サイクロンバグフィルタ併用	バグフィルタ	サイクロン（大型）	マルチサイクロン高性能サイクロン（小型）	洗浄			電気		サイクロンスクラバ電気集塵併用	慣性集塵	重力集塵
						ベンチュリスクラバ	ウォータフィルム	サイクロンスクラバ	2段型	コットレル			
原理		濾過＋遠心力	濾過	遠心力	遠心力	洗浄	洗浄	洗浄	静電	放電	洗浄 放電	慣性	重力
発生箇所の粉塵濃度	大	○	△	○	○	△	△	△	×	○	○	○	○
	小	△	○	△	△	○	○	○	○	△	△	△	△
最小捕集粒度〔μm〕		0.1	0.1	20	5	0.5	0.5	5	0.01	0.01	0.01	10	100
集塵率〔%〕		99.8～99.99	98.0～99.99	75～90	80～95	98	95	95	95	95	99.9	80	70
圧力損失〔mmH_2O〕		150～300	50～150	80～100	100～200	300～500	150～250	100～200	15～20	5～20	100～200	10～80	5～20
設備費	装置本体	中	中	小	小	中	小	小	大	大	大	小	中
	付帯設備	―	―	―	―	大	中	中	大	大	特大	―	―
運転経費		中	中	小	中	大	中	大	小	大	大	小	小
粉末回収の可否		可	可	可	可	不可	不可	不可	不可	不可	不可	可	可
水		不要	不要	不要	不要	多量	中	多量	要	要	多量	不要	不要
用途	適	ほとんどあらゆる粉体・粉塵量の多い場合	粉塵量10g/㎥程度以下	粒度の大きい粉体	同左	親水性水溶性の粉体	同左	同左	清浄空気	煤煙除去	同左	粒度の大きいもの	同左
	否	湿気（水分）の多い場合	同左	付着性の激しい粉塵	同左	撥水性の粉体	同左	同左	粉塵濃度大の場合			鱗片状・繊維状	同左

1.1 バグフィルタ

現在、集じん装置の中でもっともポピュラーなタイプで、含じんガスを濾布の表面で濾過してダストを分離する装置である。力学的には、拡張、慣性衝突、そえぎり、重力などが利用される。

濾布は円筒形または平板型に加工され、何本かをまとめる形で必要濾布面積を得るようにし、一室から教室のバグハウス内にセットされる。濾布表面に付着したダスト層は自らが濾過膜となるが、時間とともに厚くなり、一定限度でエアーもしくは機械振動により払い落とす。（**図 13.1、写真 13.1**）

<特徴>

a）払い落とし機構が確実に作動し、濾布に粉じんの堆積し過ぎることがない。従って、安定した運転ができ、集じん率が高く圧力損失が低くなる。

b）濾布が長時間の使用に耐えるように、粉じんによる負荷を直接受けない特殊構造になっているため寿命が長い。

c）吸引、濾過、払い落とし、粉じん取り出しをすべて自動化し、運転ミスによる粉じんの再飛散の事故を防ぐ防止をしている。

d）乾燥していればどんな厄介な粉じんでも完全に集じんし、公害の心配がないため応用範囲が広い。

e）24 時間連続でも 1 日に 30 分の間欠運転でも最高の性能と経済性を発揮できる。

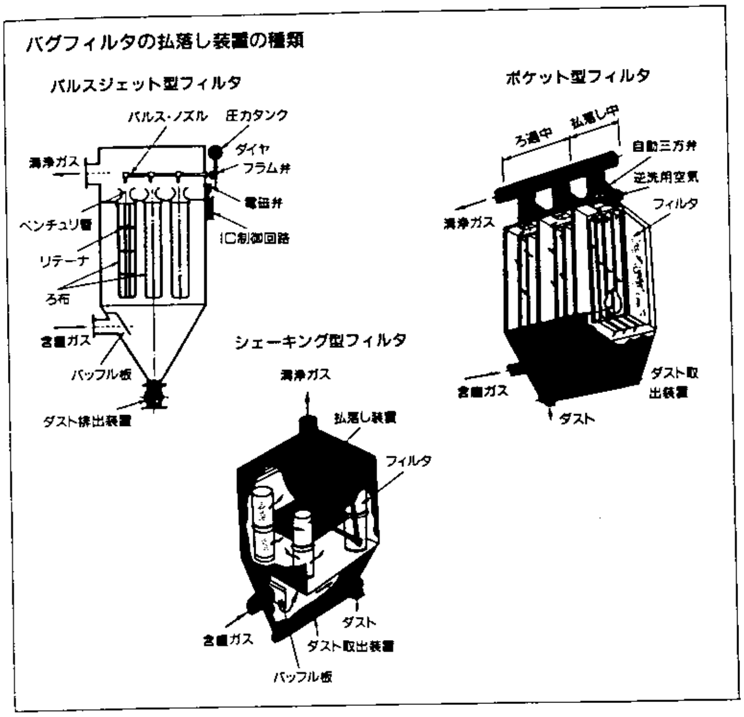


図 13.1 バッグフィルタの払落し装置の種類

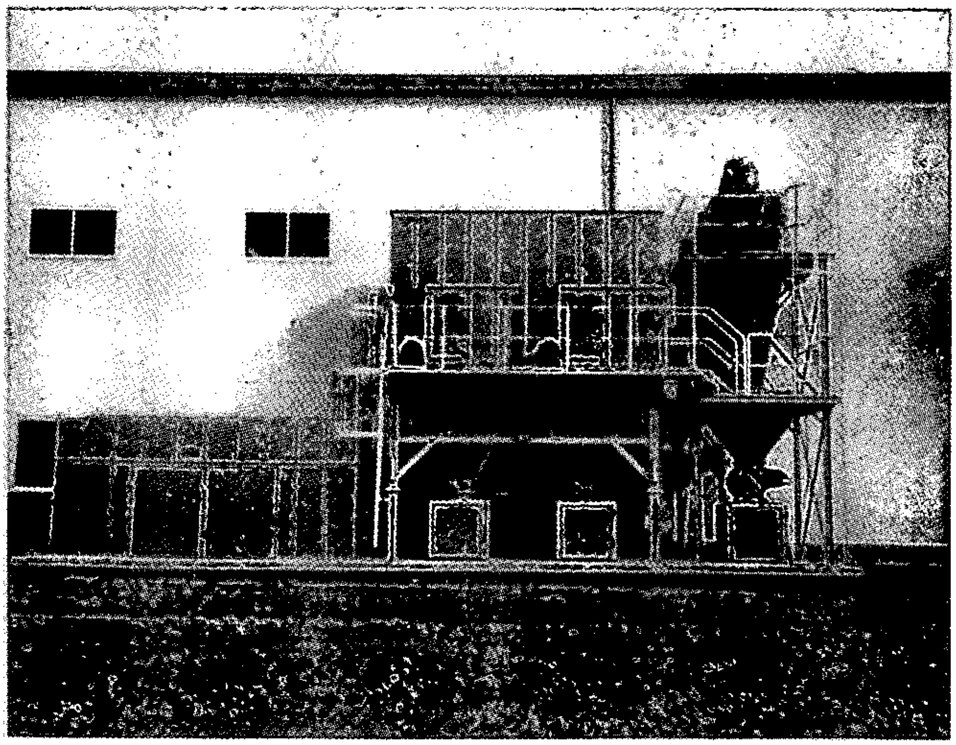


写真 13.1 型式 BF-200 型 研磨機用集塵装置

1.2 サイクロン

集じん装置として古くから数多く用いられているタイプで、構造が簡単なため用途によっては非常に有効な方式である。

含じんガスを円筒内で旋回させ、その遠心力でダストを外壁側へ追出し、サイクロン側壁にそって落下させる。このとき、ダスト(粒子)に作用する遠心力は重力に比し 500～2,000倍となり、重力の場ではほとんど沈殿しない細粒のうち、5μm以上の真比重の大きな粉じん補集にもっとも適し、バグフィルタの前処理などで多く用いられる。

(図 13.2、写真 13.2)。

＜特徴＞

a） 製作費が安く構造が簡単なわりに性能がすぐれている。

b） 処理ガス量のわりに小さなスペースで据え付けられる。

c） 比較的高温度にも使用できる。

d） 粉じん量の多い場合はとくに有効である。

e） 可動部分を伴わないので保守、点検が容易。

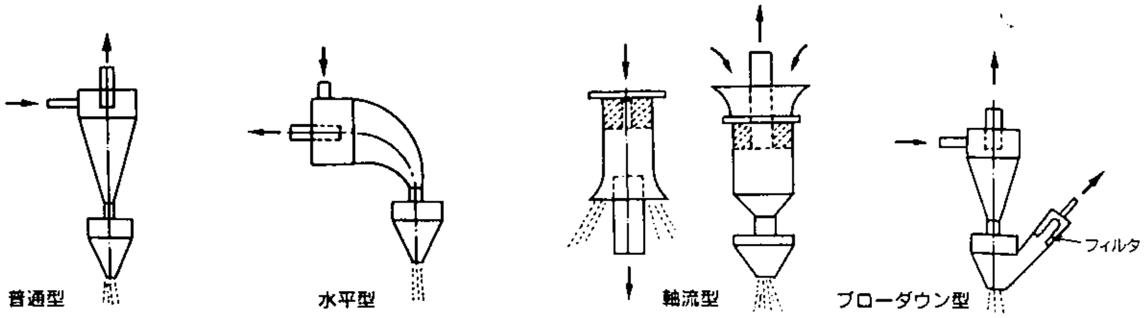


図 13.2 サイクロンのいろいろ

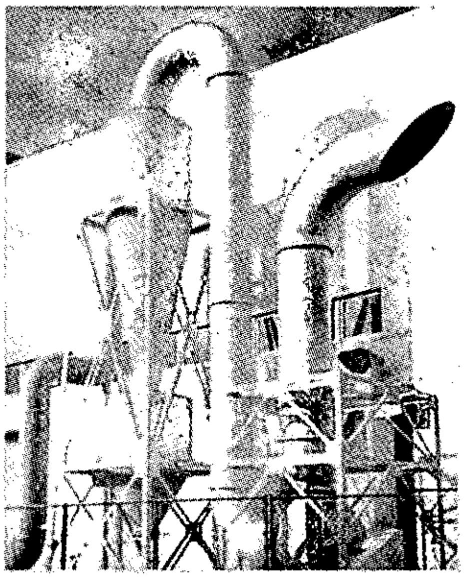


写真 13.2 型式 CY-100 型 切断機用集じん装置

1.3 スクラバ

スクラバは水または水に適当な添加物を加えた液で含じんガスを洗浄し、液滴、液膜に粉じんを付着させて補集する。従って、ガス中に含まれる有害ガス成分の吸収除去や化学的中和処理を行うことができる。

集じん原理は、①粉じん粒子と液滴との慣性衝突、②高濃度領域から低濃度流域への拡散効果か、③凝集作用などの総合効果と考えられる。スクラバは単に空気中の粉じんや有害ガスを水中に移しかえるだけの装置であるため、補集された粉じんと有害ガスを水と分離する排水処理装置が必要となる。（**図 13.3、写真 13.3**）

＜特徴＞

a）粉じん量が少ない場合であれば、粉じんとガスの同時補集が可能

b）高温のガスなどでは、洗浄水により冷却効果も期待できる

c）さまざまなタイプの洗浄方式があり、使用目的にあわせれば効率も高い

d）バグフィルタで処理できない、湿気の多い含じんガスの処理も可能

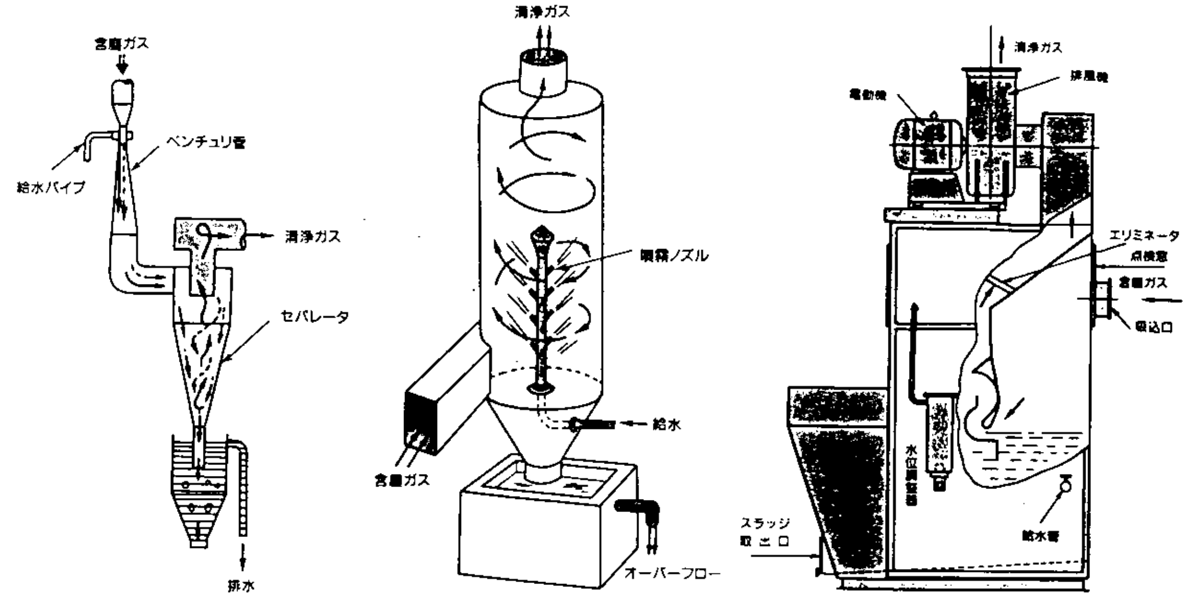


図 13.3 スクラバの代表原理

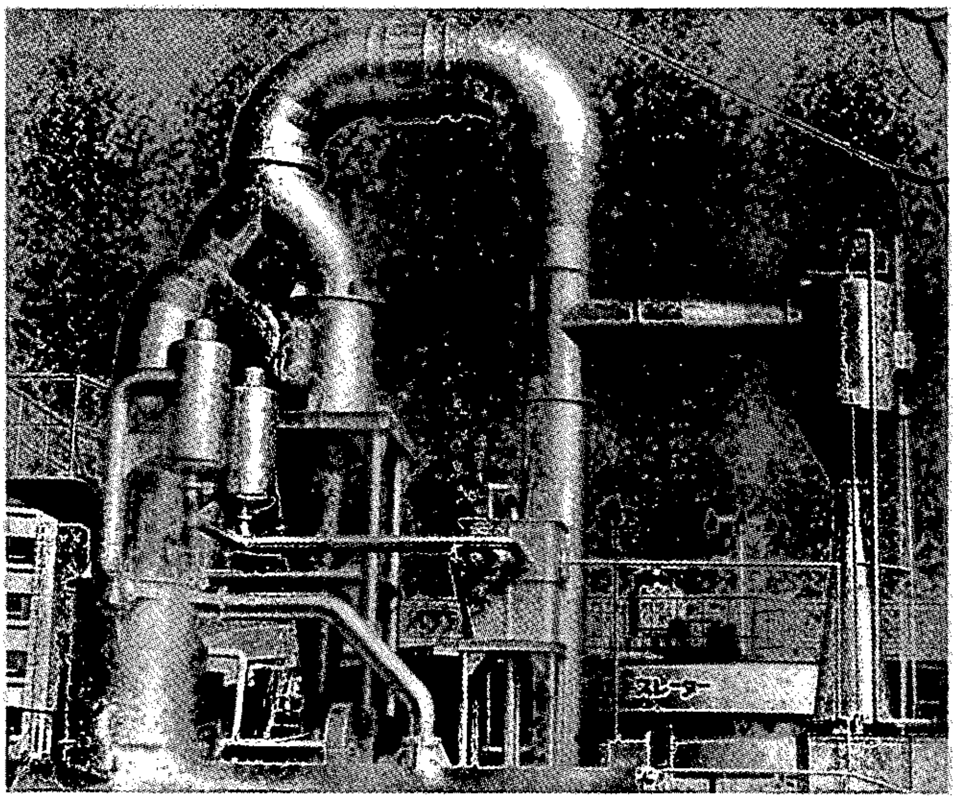


写真 13.3 型式 JS-300 型 ガス処理装置

1.4 電気集じん装置

電極間に 15,000～,70,000V の高電圧を与え、放電極周辺にコロナ放電を起させる。このとき、負イオン、正イオンが発生し、正イオンはただちに放電極に中和され、負イオンが集じん極に向って移動する。ここに岸じんガスを通すと粒子とイオンが衝突し荷電されて電気力が働き、集じん極に分離補集される。古くから広範囲に利用され、バグフィルタと並ぶ高性能の集じん装置である。（**図 13.4、写真 13.4**）。

＜特徴＞

a）1μm以下の粒子補集において集じん率が高い

b）高温のガスの処理に適している

c）粉じんの電気的性質によって集じん率が変わる

d）圧力損失が小さい

e）電気抵抗値の極端に高いものや逆に低い粉じんの場合には、乾式集じんでは補修しにくいため湿式タイプを採用する場合もある

f）軽量かつ丈夫なＦＲＰにカーボンを複合させて本体を形成し、腐食性ガスの処理に対応できる

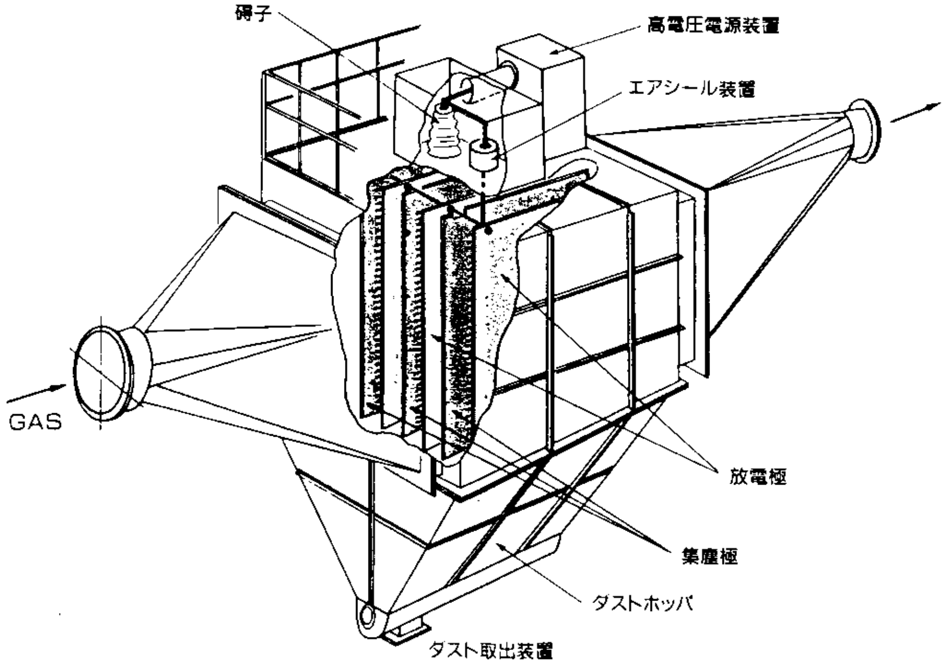


図 13.4 電気集じん装置の原理図

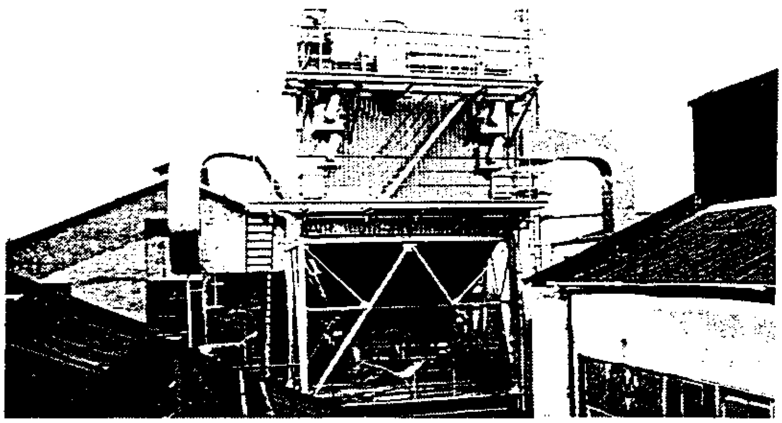
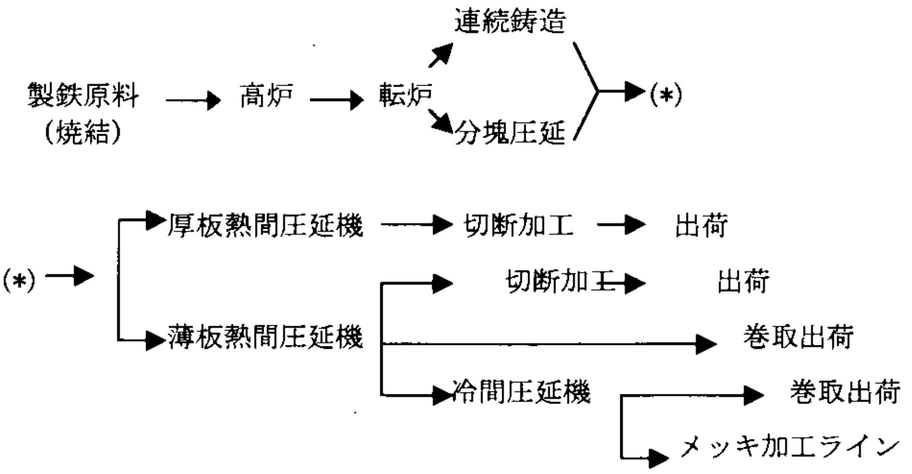


写真 13.4 電気集じん装置設置例

2. 製鉄所における環境改善設備

2.1 概要

一貫製鉄所の製造工程を一口で言えば、先ず鉱石を高炉（溶鉱炉）で還元して銑鉄を作る。その銑鉄を製鋼工場で脱炭して鋼を作るが、製鋼法には、転炉、電気炉、平炉等の種類がある。高炉から製鋼、圧延までの流れを書いて見ると、下のようなフローになる。



先ず、製鉄原料工場では鉱石ヤードの受払設備、鉱石の紛砕及び振い分け設備、高炉への送り出しコンベヤがあり、各々の設備において発じんするため集じん装置が必要である。焼結工場では、鉄鉱石の微粉と高炉煙道の粉じんとが高炉に装入しやすい形にかためられる。この工程では低速の移動格子の上に鉱石粉、集じんダスト等鉄を含んだ物質とコークス等の燃料を混ぜたものがのせられ、点火されるようになっている。燃焼ガスはこの移動格子を吹き抜け、煙突へと導かれる。この燃焼排ガス中には SO_2 と多量のばいじんが含まれるため集じん装置が必要である。

高炉では、約 60%の鉄を酸化物として含む鉱石を還元して銑鉄を作る。高炉の中で鉱石に含まれている不純物はある程度取り除かれる。この銑鉄はさらに転炉、平炉、あるいは電気炉に入れ精練される。

高炉には、鉄鉱石にコークスと石灰石が交互に装入される。燃焼を促進するために熱風を羽口より吹き込む。1 トンの銑鉄を得るためには、鉱石 1.7 トン、コークス約 0.5 トンのほか、石灰石、スラグ、スケールも合せて装入する。高炉々内で鉱石中酸素と炭素が反応し大量の高炉ガスが発生する。このガスは、湿式集じんされた後、高炉熱風炉及び各工場に燃料として供給される。次に高炉で溶解された銑鉄が高炉下部の出銑口から流れ出て、レール上にある鍋車で受けて搬出される。出銑口近辺からの粉じんは一番粉じんの量が多

く、さらに樋を伝って鍋車に注ぐところでも発じんする。これ等発じん個所すべてに対応するため高炉鋳床集じん装置が必要である。

高炉に用いられるコークスは粘結炭及び非粉結炭を混合し、コークス炉で乾留されて作る。副産物回収工場で分離される留出品は売却され、残ったガスはコークス炉ガス脱硫装置を通して脱硫した後、コークス炉の加熱、及び他の工場全般への利用に供される。コークス炉上における装炭、でき上がったコークスの取出し、冷却の各操作の間に煙とかガスが逃げ出すので、装炭車集じん装置及びガイド車集じん装置により捕集しなければならない。コークス炉は、通常の状態では密閉されているが、炉扉の閉鎖が不完全なために煙とかガスが漏れる恐れがあるため、炉扉シールの維持管理を十分行う必要がある。

次に、製鋼工程では屑鉄、銑鉄を炉の中に入れ、精練により銑鉄中の余分な炭素を取り除く。平炉では液体もしくは気体燃料を用いて溶かす。不純物はスラグの形になって取り除かれる。炉の中に酸素を吹き込むことにより製鉄時間の短縮、燃料の節減、鋼鉄の生産量の増加をはかることができる。酸素の吹き込みを行うと煙と粉じんの発生も同時に増加するため集じん装置が必要である。

塩基性純酸素転炉製鋼法は、転炉の上部から高圧酸素を吹き付ける方法である。本法では、溶融浴の表面に高速で酸素が吹き付けられるため、強烈な攪拌が行われ、酸素と銑鉄とが完全に混合される。この際、酸素と銑鉄中炭素が反応し多量のCOと粉じんを含むガスが発生する。このガスは炉外で燃焼させて排出するケースと、高濃度のCOを未燃焼で回収し他の工場の燃料として供給するケースがある。いずれの場合も集じん装置が必要である。

電気炉は普通鋼及び、特殊合金鋼の製造に用いられている。特殊鋼を製造するためにはいろいろな合金成分（ニッケル、クロム、マンガン等）が加えられる。熱源は炉の天井を貫通して装入されている直接電孤型電極によって供給される。最近ではスクラップの溶かし込みの率及び均一性を増大させるためと、電力消費を節減するために酸素が用いられている。電気炉においても溶けた鉄と酸素が激しく混じり合うため大量の酸化鉄粉じんが発生するため集じん装置が必要である。

精練後、溶鋼は連続鋳造機又は分塊圧延によりスラブ又はビレットに加工され、圧延工程に供給される。連続鋳造により出来たスラブを切断する際、酸素とガスが用いられ粉じんを発生する。

スカーファー（Scarfing-Machine）は、スラブ又はビレッドを圧延する前に表面の欠損を取り除くのに使われる。これは鋼鉄の表面に酸素のジェット流を吹き付け、金属表面の薄層を急速に酸化することによって剥離させるものであるが、この場合も酸化鉄による粉

じんが発生する。

圧延工程以降においては、粗熱間圧延、仕上熱間圧延時の発じん、圧延成品の切断加工（ノコ、金剛石、ガス、プラズマレーザー）時の発じん、冷間圧延時のオイルミストの発生、また連続酸洗設備や連続鍍金設備における酸ミスト等の発生がある。

その他の付帯設備では、石灰工場での発じん、各種溶解炉鍋の内側に張ってある耐火レンガの張り替え作業時の発じん、耐火レンガの切断加工の発じん等がある。

以上、製鉄所における発じん、発生ミスト、発生ガス等の概要を説明した。高炉をもっている設備は、世界でも設備が大型化するため大手企業が殆どであるが、企業規模が小さくなると電気炉製鋼が多くなり、比較的小さな町で全国的に散らばっている。

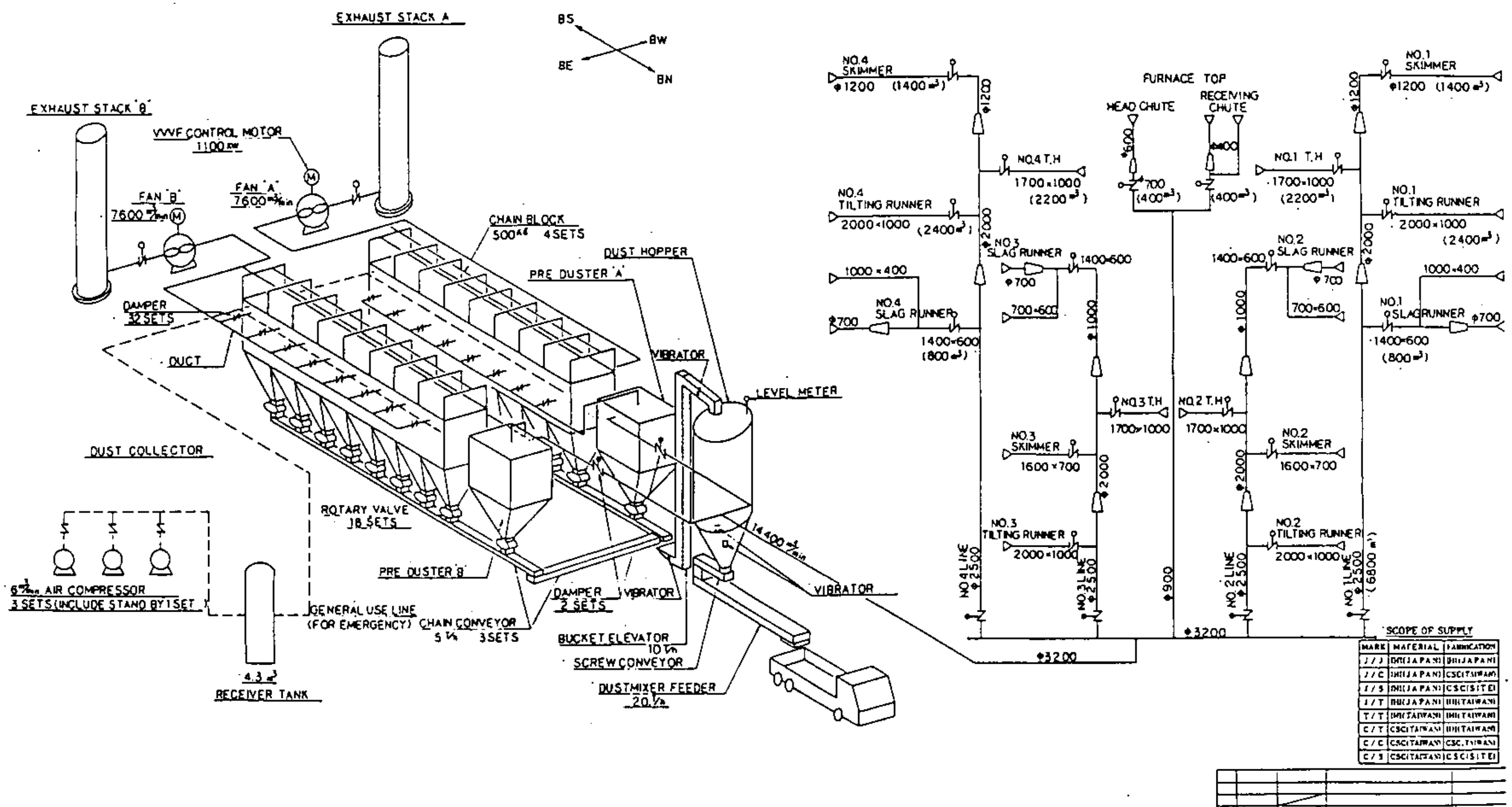
東南アジアは高炉製鋼は少ないと思うが、電気炉製鋼所の場合は、一貫工場の中で[高炉＋転炉]を[電気炉]に置き換えれば後工程は同じであると考えてよい。

なお、日本の場合、電気炉製鋼の殆どが棒鋼、型鋼、鉄筋、特殊鋼の製造を主としている（但し、東京製鉄(株)は板まで生産している）。

環境改善設備の対象は、以上のごとく種類、方法等が多いため、全てを紹介することはむずかしい。ここでは、代表例として高炉鋳床集じんに関して以下に記している。

高炉鋳床用集じん装置

所要風量	7,600m^3／min×2基	プレダスター	100m^3×1基
所要静圧	650mmH_2O	バグフィルタ	4,100m^2×2＝8,200m^2
所要動力	1,100kw×4p	濾過速度	1.74m／min
台数	2台	ダストサイロ	90m^3
	混錬機	5.5kw	



	SUCTION VOL.	LAP TAPPING
TAP HOLE	2200m³/min	2200×2＝4400m³/min
SKIMMER	1400	1400×2＝2800
TILTING RUNNER	2400	2400×2＝4800
SLAG RUNNER	800	800×2＝1600
FCE TOP HEADCHUTE	400	400
HOPPE GATE	400	400
	7600m³/min	14400m³/min

図 13.5 高炉鋳床用集じん装置 型式 BF-4000 型 X2 基（フローシート）

3. 当該技術を途上国に移転する目的途上国の環境改善と地球環境を守るため、会社のPR、将来に向っての商談、引き合いをもらうためのｅｔｃ

4. 導入方法

技術提携

現地の機械メーカーの合併会社の設立または技術提携

5. 公害防止機器に関する技術については我が国と欧米との差はほとんどない

6. 当該技術に関する情報一覧

社団法人産業環境管理協会
中央労働災害防止協会
社団法人日本作業環境測定協会
公害対策技術同友会
労働基準調査会
日本保安用品協会
化学工業社
環境庁環境法研究会
社団法人日本空気清浄協会
環境新聞社
環境産業新聞社
労働省（労働衛生課、安全衛生課、環境改善課）
環境技術研究会
財団法人放射線安全技術センター
高圧ガス保安協会
日本経営出版会
この文章のうち、一部は上記の参考書より引用したものがあります。

以上