

## X. 水質汚染モニタリング技術の移転

■1994.12～1997.12, インドネシア, インドネシア・環境管理センタープロジェクト, 長期派遣

鈴木明夫

### 1. まえがき

産業公害で先進国である日本が環境技術の分野で協力することが国際社会において求められている。発展途上国で日本国民が経験した公害の歴史を繰り返させてはならない。公害から国民を守るためには環境行政でリーダーシップのとれる環境技術の専門家を養成しなければならない。技術移転により人材を養成することが JICA 専門家の役割と考える。

筆者のカウンターパー（以下 C/P）が所属する Environmental Management Center(以下 EMC)はインドネシア政府環境管理庁（以下 BAPEDAL）の試験研究機関で、リファレンスラボラトリーと呼ばれている。リファレンスラボラトリーは日本では聞きなれないが環境分野の頂点にたつ試験研究所を意味する。BAPEDAL が進める環境行政を技術面からサポートすること、27 州の地方ラボの環境技術の向上をサポートすることが大きな役割である。EMC ラボのスタッフは環境技術をリードする専門家たることが期待されている。

水質汚染モニタリングにより汚染の程度と広がりを把握することは環境行政を進める上の基本である。モニタリング計画、フィールドサンプリング、水質分析、データ解析そして報告書作成まで行えることが EMC のスタッフへ求められている。現状はすべての面で不十分で、モニタリング技術の向上は筆者が着任以来進めてきた重点項目である。今までの経験からこの技術移転の問題点と効率よく移転するためのコツを紹介することは今後の専門家にとって役立つと考える。教科書に載っていることは省き、C/P への技術移転の過程で筆者が体験した思いがけないこと、インドネシア政府の定める基準が日本のそれと異なるために生じる課題などを紹介する。

### 2. モニタリング計画

まず、モニタリングの目的を明確にさせなければならない。筆者の着任当時、C/P は川の水質モニタリング事業に従事していた。10 州から一つづつの川を選定し、その川の任意の上流と下流一個所づつにサンプリングポイントを設定して水質分析を行っていた。毎年別の川を対象としていた。このようなモニタリングでは、ある年のある日のそのサンプリングポイントの水質分析結果を得るが、それから何が判りどのような結論が導かれるであ

ろうか。その川の水質が悪化しつつあるか否かを知る目的なら、同じサンプリングポイントで毎年同じ時期に同じ時刻にサンプリングして数年データを蓄積して解析することにより判明する。また、一つの川に着目して上流から下流までの水質変化を知る目的なら、十数 km 間隔で数箇所のサンプリングポイントを設定し、可能な限り同じ時刻にいったいにサンプリングして分析することにより目的を達する。ジャカルタ市内を流れるチリウン川については上述した二つの目的を達するため、上流から下流まで 10 箇所のサンプリングポイント定め、毎年乾期・雨期の 2 回、ほぼ同じ時刻にいったいにサンプリングを行いモニタリングを続けさせている。上流から下流までの分析データをグラフ化し、地図と照らし合わせることにより、川が人口密集地帯にはいたところから水質悪化が急激であること、すなわち、この地域には大工場はないことから家庭排水の直接放流が水質悪化の主な原因であることを理解させた。

工場排水のモニタリングで注意させることは工場の操業状態により水量と水質が大きく変わることである。また、モニタリングの目的は二つあり、ひとつは対象としている工場排水の水量と水質を調査することであり、もう一つは排水基準に違反していないかどうかの検査である。前者では工場側の協力を得て行うが、後者では工場側へ知らせずに抜打ちで排水をサンプリングしなければならない。これがインドネシアでは大変むづかしい。EMC スタッフには工場立ち入りの権限が与えられていないので、C/P だけがインスペクターとして行くことはないが、BAPEDAL あるいは州政府のスタッフに同行してサンプリングに行くことがある。この際注意してやらないと、工場側スタッフにだまされて、工場排水と直接関係のない池の水を排水処理した放流水としてサンプリングさせられたりする。国民性からか、権威のありそうな人、年上の人のいうことに盲目的に従う傾向がある。事前に参考書等で工場の生産プロセスと排水発生の過程および排水の水質を勉強させ、十分準備してから出かけるように指導している。これは正しいサンプリングに有効と考えている。

環境管理の法施行力がまだ弱いので、突然工場を訪問して守衛に入門を拒否されたことを筆者は再三経験した。州知事の立ち入り命令書を携え、州政府環境局スタッフが同行しても入門できず、本社の社長に交渉しなければならなかった。余裕を持ったスケジュールをたてないと思わぬところで時間をとられ計画通りのサンプリングが出来ない。

微量重金属分析のトレーニングと重金属汚染モニタリングを兼ねて、主要工業地帯の海域の緑貝のサンプリングを行った。緑貝の採取には漁民の協力が不可欠である。ところが一般に漁民はインドネシア語を話せず、彼ら独自の地方語を使っている。C/P はその地方語をまったく理解できない。そのため専門家から漁民へ意志を伝えるには C/P に英語をイ

インドネシア語へ訳してもらい、さらに現地の役人にインドネシア語を地方語へ訳してもらわねばならない。計画立案にあたっては現地語の通訳の手配についても配慮する必要がある。

### 3. フィールドサンプリング

広大なインドネシアでのフィールドサンプリングは航空機により現地へ向かうことが多い。そのため、持ち運べるサンプリング用器材に制限があり、アイスボックス一個の中に詰め込める量が限度である。サンプルビン、pHメーター、DOメーター、前処理用硝酸、純水、ピペット等若干のガラス器具である。メーター類の予備を持っていくことは難しいので事前に整備してキャリブレーションしておくことが大切である。

サンプリングの際にC/Pは思いもかけないことをすることがある。例えばDO測定用のサンプリング水を小さなバケツでくみ上げ、それを大きなバケツへどほどほと移し替えたりする。一流大学出身者でもこの様なことを平気で行うことがある。DOとはなにかを理解していない。筆者はサンプリングに立ち会った場合、忙しそうでも手をかさず近くでC/Pの動作を観察することにしている。するといろいろなことが見えてくる。

フィールドノートをきちんとつけさせることも大事である。水温、pH、色等を所定の用紙に記入することは多くのC/Pがマスターしているが、サンプリングポイントの見取り図を書くことは大変苦手である。見取り図を描く目的、書くべきポイントを理解していない。数箇所サンプリングするとき最初のサンプリングポイントで見本を描いて見せ、次からC/P自身で描かせている。

サンプル水の現地での前処理にインドネシア政府の定める方法が日本とは若干異なる。重金属分析用のサンプルを硝酸でpH2以下にすることは同じだが、COD測定用のサンプル水も日本と異なりpH2以下にする。日本ではサンプリング後速やかに分析することが前提だが、インドネシアではラボまでの運搬に時間がかかること、重クロム酸によるCODを測定することなどの理由で、pH2以下の酸性にして冷暗所保存となっている。この前処理は欧米の方法を取り入れたものである。

サンプルをアイスボックスで運ぶ際に注意すべきことは、文字どおり大きな氷の固まりを入れてしまい、それが途中で解けてじゃぶじゃぶになり、サンプルビンが浮かんでひっくり返ることである。最近では、市販されている保冷材を冷凍庫で冷やして使わせており、これだと航空機で運搬する場合も安全である。

## 4. 水質分析

### 4.1. 分析技術の移転

インドネシア政府が環境基準に定めている水質モニタリングに必要なパラメーターを表 9.1 に示す。全部で 40 項目あり、現在水質ラボではすべてを分析できる。

インドネシアには日本の JIS に相当する SNI があり、環境基準に採用されているすべてのパラメーターについて分析方法が規定されている。しかし、その規定の内容は不十分でパラメーターによっては分析手順の概要が書いてあるに過ぎない。C/P が正しい分析技術を身につけるためには JICA 専門家からの技術移転が必要である。分析技術の移転方法は二つある。一つは専門家自らが手取り足取り指導する方法であり、もう一つは C/P を日本へ研修に送りその分野の専門家にトレーニングしてもらう方法である。

例えば、T-CN, NH<sub>3</sub>-N など蒸留操作を伴う分析技術は筆者が蒸留装置の組み立てからコンデンセートの滴下量をマントルヒーターで調整するまで指導した。蒸留操作の応用で T-F の分析を指導する段になって意外なことに気づいた。T-F の蒸留では温度を上げるためブンゼンバーナーでフラスコを加熱しなければならないが、バーナーを使える C/P が一人もいないのである。バーナーを分解して構造から説明し着火してしばらくして新たなことに気づいた。イスラム教の女性が被っているジルバップへの引火である。小学生から大学生までジルバップを着用している女性の多いインドネシアでは実験台の上でガスバーナーを使うことは危険である。そのため学校ではブンゼンバーナーの使用方法を教えないのであろう。T-F 分析の必要性和危険のバランスを考え当面は技術移転を断念した。

一方、一般大腸菌と糞便性大腸菌分析については、1 名の C/P が既に日本で 3 ヶ月の研修を受けてきており、また短期専門家を招聘して C/P 全員へのトレーニングも済んでいた。しかし、実際のサンプル水についての分析経験が全くなかったので、主要大都市（スラバヤ、スマラン、バンドン、ジョクジャカルタ、メダン）住民の生活用水の一般大腸菌と糞便性大腸菌汚染のモニタリングを兼ねて分析の実習をさせた。インドネシア人の生活用水は大きく分け 4 つの水源を利用している。川、井戸、泉、雨水である。川の流域に住んでいる人は川へ直接排便する習慣があり、しかもその川で顔を洗ったり、食器を洗ったりしている。しかし、住民に消化器系の病気 (0-157 等) が大流行した話を聞かないので川の水に特殊な殺菌作用があるものと当初考えた。分析結果は恐ろしいほどの数値で、川の水の一般大腸菌は 400,000/100cc 以上、糞便性大腸菌は 100,000/100cc 以上であった。井戸の水は川の水とほぼ同じ数値で両者が地下水でつながっているためであろう。泉の水と雨水では 10/100cc 以下でほとんど汚染されていなかった。この分析で菌数を MPN 法で推定値を

表 9.1 インドネシアにおける水質モニタリング項目  
(Capable analytical parameter)

No.	Method	Portable meter	Ion meter	Titration	Spectro photo meter	Gravi metric	Atomic Absorption Spectro meter	Gas Chromato graph	MPN
	Parameter								
1	pH	○							
2	Turbidity	○							
3	DO			○	○				
4	SS					○			
5	COD			○					
6	BOD			○					
7	Total Hardness			○					
8	Salinity	○							
9	Ca			○			○		
10	Mg			○			○		
11	Ba					○	○		
12	Pb						○		
13	Fe				○		○		
14	Mn				○		○		
15	Cr				○		○		
16	Cd				○		○		
17	Cu				○		○		
18	Zn				○		○		
19	Hg						○		
20	As				○		○		
21	Na						○		
22	K						○		
23	Se				○		○		
24	F <sup>-</sup>		○		○				
25	Cr <sup>6+</sup>				○		○		
26	CN <sup>-</sup>		○		○				
27	T-CN		○		○				
28	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>				○	○			
29	S <sup>2-</sup>				○				
30	Cl <sup>-</sup>			○					
31	NH <sub>3</sub> -N				○				
32	NO <sub>3</sub> -N				○				
33	NO <sub>2</sub> -N				○				
34	T-N				○				
35	Phenole				○				
36	Org-Halog.							○	
37	Hex. ext.				○	○			
38	Coli. Group Bact.								○
39	Faecal. Coll. Bact.								○

求めるのだが、培養前の希釈率を決めるのがむづかしい。希釈率を誤ると $>5,000/100\text{cc}$ などと分析してくるが $400,000/100\text{cc}$ なのか $1,000,000/100\text{cc}$ なのか判らない。種々の環境水について測定を繰り返すことにより“勘”が育ち、正しい希釈率を決められるようになった。これは他のパラメータも同じで、ラボでスタンダードの分析だけしたのでは技術移転は完了しない。フィールドサンプルの分析を体験させることが必要である。

専門家自身が得意でないパラメータの技術移転は C/P の日本研修と短期専門家の招聘で補うことができる。すべての項目にオールマイティな専門家はいないのだから、この二つの制度を活用すべきである。フレームレス AAS、イオンクロマト等もこの方法で技術移転した。しかし、基礎的な操作法の移転は可能だがフィールドサンプルで経験を積ませて役立つ技術として身につけさせるには現地の専門家の適切な指導が不可欠である。

移転する技術は現地の実状に応じたものでなければならない。インドネシア政府では COD の測定は重クロム酸による酸化、すなわち  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  法を採用している。しかし日本で一般に採用されている環流蒸留による方法ではなく酸化反応を密閉した耐圧ビンの中で  $150^{\circ}\text{C}^{-2}$  時間反応させる方法である。日本政府からの ODA 無償機材にはインドネシア側とも合意の上、環流蒸留の装置を入れることをしたが密閉した耐圧ビンを安全に  $150^{\circ}\text{C}^{-1}$  時間反応させる装置は含まれていない。しかしながら C/P は自ら工夫して手持ちの容量  $150\text{cc}$  ほどの耐圧サンプルビンに電気乾燥機に入れて酸化反応をしていた。ところが、この耐圧ビンのプラスチック製フタは  $150^{\circ}\text{C}$  では軟化して強度が落ち、ときどき乾燥機の中でフタが飛んで破壊することがあった。筆者は供与機材の年度予算に計上して、HACH 社製の  $\text{COD}_{\text{Cr}}$  測定用の耐熱耐圧リアクターを購入して使わせた。それ以来このような問題は全く無くなった。

プロジェクトを計画する段階では一般に日本で採用されている測定法に基いてすべての機材と薬品が準備される。現地の情報を得難いのと、現地政府が定める測定法も 3~5 年で変わるので日本で立てた計画が実施段階で現地の実状に合わないものが出るのはやむをえない。プロジェクトがスタートして専門家が着任した時点で見直すことが必要である。

#### 4.2. 分析値の精度管理

正確な分析値を得なければ正しいモニタリングはできない。アメリカ、カナダでは工場生産の品質管理に発達した QA/QC の分析精度管理への適応が進んでいる。日本では分析作業者が自主的に精度管理を行うことが主流となっていて、QA/QC 担当者から管理される制度はなじみがうすい。水質ラボのスタッフの能力・特性を観察し検討した結果、EMC ラボには QA/QC の導入が適しているとの結論になった。丁度、ワールドバンクのプロジェクトチーム

が QA/QC のラボへの普及を目指してセミナーを開いたり、2 名の C/P をカナダで 1 ヶ月の研修を受けさせる機会があった。研修を受けた C/P を中心に水質ラボの分析作業を QA/QC でコントロールする体制を少しずつ進めさせた。本格的 QA/QC の範囲は広く、専任の QA/QC 部署、分析器のメンテナンス、薬品の管理、サンプルの取り扱いまで含まれる。とりあえず、基礎パラメーターである COD, NH<sub>3</sub>-N, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> および重金属についての精度管理から始めた。これらのパラメータの分析の際にはスパイクテストとデュプリケートテストを必ず行うことにした。スパイクテストでは回収率が 80~120% から外れた時はその分析値を棄却して再分析する。また、デュプリケートテストでは二つの分析値の差が平均値の 20% 以上の時は再分析する。これで分析値の信頼性を大きく改善することができた。今後はさらに多くのパラメータへ精度管理を拡大するとともに、管理結果を統計的に解析して個々の分析者のくせを知り作業改善へのフィードバックを行う。今は分析者自身がこれらの精度管理を行っているが将来は専任の QA/QC 管理者が作成するアンノンサンプルによる管理を行う必要がある。

#### 4.3 試薬と分析器機の管理

試薬と分析器機をいつでも使えるように準備しておくことは正しい分析値を得るために必要なことである。日本の協力で本邦の薬品メーカーから購入された試薬、あるいは機器メーカーから供給された分析器機を長期間使う過程で、現地の事情に合わない問題が生じる。

日本の薬品メーカーは各種の試薬をすぐ使える状態に調合して供給してくれる。ところが、インドネシアで試薬を供給しているドイツの MERCK 社は調合したものを供給しない。例えば、水銀分析の際に還元剤として使用する塩化第一水銀は、日本のメーカーは所定の濃度の水溶液にして水銀分析用として供給している。この水溶液試薬を使い切ったとき C/P は同じものを日本から購入するよう求めてきた。MERCK 社が供給している粉末状の塩化第一水銀も不純物としての水銀濃度が低く、分析に十分使える品質であったがこれを水に溶かして使おうとしない。理由を聞くと、以前試みたが溶かした時に白く濁り、それを使うと正しい分析値を得られないとのことだった。筆者が再度試み、白濁をろ紙で濾して使わせたところ問題無く使用できた。このような簡単なことも C/P は自ら解決することができない。

供与された分析機器でインドネシアに代理店のないものが故障したときは大変困る。代理店のない某メーカーの純水製造装置のヒーターが壊れた時は、招聘した短期専門家に部

品を購入して持ってきてもらった。

JICA 専門家が引き上げた後も C/P が自分たちで試薬と分析器機の維持管理をできるように対策を講じる必要がある。試薬の問題はケースバイケースで解決策を指導することが可能だが、機器の中には故障した時解決の困難なものもある。基本的には、供与する資機材は可能な限り現地調達としてのちのちまで現地の代理店からのメンテナンスを確保すべきである。

## 5. データの解析と検討

分析値を表にして眺めることはデータ解析の第一歩である。あるサンプルについて BOD と COD<sub>Cr</sub> の分析値を一つの表にまとめて、BOD の方が高い値を示しているのにその異常に気づかずにもってくるのがよくある。BOD と COD<sub>Cr</sub> のどちらが高い値を示すか質問すると COD<sub>Cr</sub> であると答え、基礎的な知識は学校で習っている。しかし、自分が作った表を眺めて重要なポイントについてチェックする習慣がついていない。工場排水の分析値の表を作成させても排水基準値との比較を行わない。どこをチェックすべきかはその表によりケースバイケースで異なるのでオンジョブトレーニングで指導し経験を積みさせることが必要である。

分散図を作成させ意外なことに気づいた。数十のサンプルについて COD<sub>Cr</sub> と COD<sub>Mn</sub> の分析値が得られたので、これらの相関を検討するためデータをプロットして分散図を作るように指示した。すると、C/P は分散図作成コンピュータソフトへデータをインプットして図をプリンターでアウトプットし、相関はありませんと言ってきた。その図はデータが横軸上に一直線に並び、一見したところ COD<sub>Cr</sub> と COD<sub>Mn</sub> は相関が無いようであった。これは横軸と縦軸のスケール設定が不適切のためにそのようになったので大変な過ちをしていた。自分自身でグラフ用紙に手で点を記入して相関図を作れば正しい相関を観察することができる。統計処理を行うコンピューターソフトを手軽に使えるようになったが、ソフトを過信してしばしば陥る問題である。コンピューターソフトを使う前に自分自身で手計算をさせ、手でグラフ用紙にプロットさせるトレーニングが必要である。

## 6. 報告書作成

### 6.1 報告書の種類

C/P は依頼分析結果の報告書、出張報告書、モニタリング報告書などを書かなければならない。これらのうち依頼分析結果の報告書は分析データを所定の用紙へ記入するだけなの

で大きな問題はない。出張報告書とモニタリング報告書を書くのは C/P にとって大変難儀なことで書かせるのは容易でない。今までの学校教育でレポートを書くトレーニングを受けていないと見え、物を書くことに大きな抵抗を示す。JICA 専門家が指導するため英語で書かなければならないことも重荷になっているのであろう。

## 6.2 出張報告書

C/P はフィールドサンプリングのためインドネシア各地へ専門家と出張するが、出張先で得られる水質汚染に関する情報は環境行政を進めるにあたって貴重である。きちんとした報告書にして C/P の上司である EMC 所長経由で BAPEDAL の関連部署へ報告すべきである。出張に先立ち、連れて行く C/P に出張報告書記入要領を説明し、帰ってきたら必ず報告書を書くことを約束させた。記入要領で出張の目的、行程、フィールドノート、主な面会者、得られた情報、そして感想を書くように指導した。この報告書は BAPEDAL 内で読んでもらうことを目的としているのでインドネシア語で書かせた。EMC 所長へ提出する際に、所長のコメントを記入して報告者へ戻すフォームを添付させた。所長からのフィードバックが報告書を書く励みになると考えた。

1996 年に工場排水のサンプリングで 12 回出張したが、同行した C/P は全員に報告書を提出させた。報告書を書くにあたっての課題が二つある。一つは、始めから終わりまで旅行日記のように書くことである。フィールドで測定した pH, DO, 温度なども表にせず、文章中に測定した日毎にだらだらと書くのである。もう一つの課題は“感想”に何を書くか判らないことである。これこそ本人の思考能力を発揮する一番大切なところであるが発想が湧かないのである。訪れた工場で門前払いされ悔しい思いをして、環境管理の法執行力強化の必要性を痛感したなど書くべきことはいくらでもある。

旅行日記のように書くことは体裁の問題なので、書き方を指導することにより改善した。しかし、感想として書くべき発想の乏しさは一朝一夕に解決できない。

## 6.3 モニタリング報告書

フィールドサンプリングの分析データがすべて出そろったらモニタリング報告書を書かせている。報告書の構成は概要、緒言、サンプリングと分析方法、結果と検討そして結論である。報告書を書くには他人の報告書をよく読み、関連情報を得ることが必要なので参考文献を読ませている。インドネシアでは文献検索のシステムが無く、読ませたい文献を取り寄せることが極めて困難である。筆者の場合は幸い元籍企業の協力があり、JICST の文

文献検索で必要な文献を見つけてからコピーを送ってもらうまで2週間程で入手出来る。せっかく文献を与えてもC/Pによってはほとんど読まない者もいる。読ませる方法として輪講形式も効果がある。一つの文献を4名のC/Pへ渡し、2週間後に全員集めて適当に区切りながら各自に内容を説明させたことがある。その時は4人とも読んできて判らないところを質問した。この質問することが彼らのレベル向上に大切であるが、自分で勉強して理解できないところを聞いてくることは極めてまれである。

報告書を書かせて気づいたC/P共通の問題点は次の通りである。まず、報告書のあちこちに参考書・教科書からの丸写しが多く、自分自身の文章が少ないことである。また、概要と緒言に同じ文章を繰り返し書くことである。おそらく、いままでの学校教育で作文のトレーニングが不十分で、自分でものを書く能力が育っていないのであろう。次に、データの解析と検討の力が無いことは前述の通りである。そして最も重要な結論で何を書いてよいか途方に暮れている。このモニタリングでなにが判ったか、水質汚染が進んでいるのかいないのか、進んでいるとすれば如何なる対策が考えられるか、本人の意見を書いてほしいのである。出張報告の項で述べたと同じく、自分自身のオリジナリティのある意見・感想を出す能力が極めて低い。この能力こそ環境技術分野でリーダーとなるには不可欠である。是非とも育てなければならない。

## 7. おわりに

技術協力は相手国の要望に基づき、相手国の実状に合わせて、相手国の方針に沿って進めなければならない。水質汚染モニタリング技術の移転を進める過程で、相手国の実状に合わせる事が効果的な技術移転につながることを確信した。

日本の学校教育を念頭においてC/Pと向き合うことは適切でない。インドネシアでは大学までの理科教育が教科書中心で、自ら装置を組み立てて実験を行い、結果をレポートにまとめる経験がほとんどない。教科書から得た知識はそれなりに有しているが、実際に何かをやらせると簡単なことでも全く手がつかないことが多い。手順書に書いてある通りのことは出来るが少しでもはずれたことをやらせようとするとストップする。潜在能力の高いC/Pもいるが、体で体験する機会が極めて乏しかったため応用力が育っていない。そのため、技術移転の過程で期待とかけ離れた思いがけない場面にしばしば直面する。インドネシアの実状に合わせて初歩的なことから忍耐強く、根気よく指導しなければならない。日本の分析基準、試薬、そして分析機器をそのまま持ち込んでインドネシアの実状に合わないことが生じる。日本でインドネシアの正確な情報を集めることはきわめてむづかし

いので、はじめから実状に合った準備をすることは不可能である。専門家が着任して不都合が判明したら直ちに現地の実状に合うように修正して技術移転することが肝要である。今後インドネシア以外の国へも水質汚染モニタリング技術を移転する機会が増えるであろうが、本報告書は他の国への技術移転でも役立つと考える。