

## 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<sup>1)、2)</sup>。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。タイでも大気中にはもちろん、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。

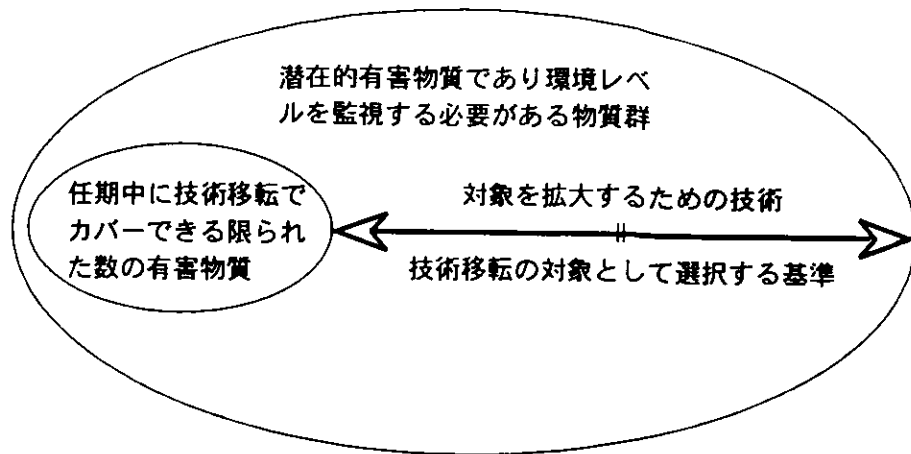


図 2.1 有害物質に関わる技術移転の特性

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 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ことで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、バックドカラム 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。

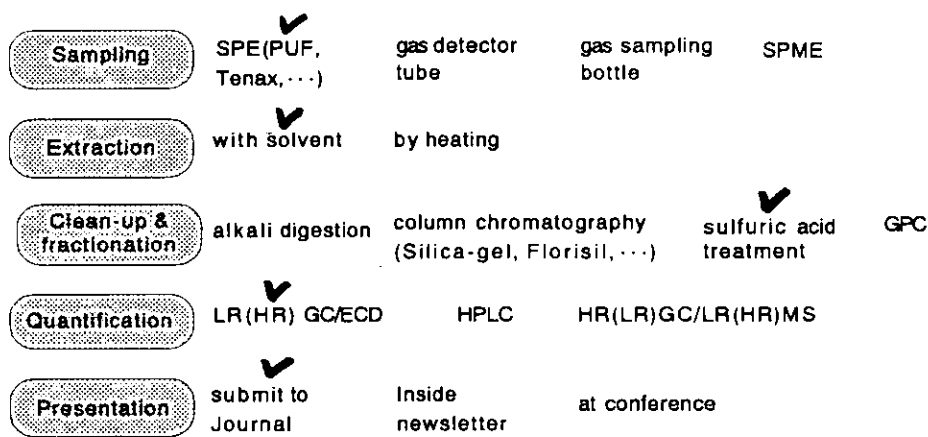


図 2.2 モニタリングのための技術の構成

ところで、森田<sup>4)</sup>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がある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十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ー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

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對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。

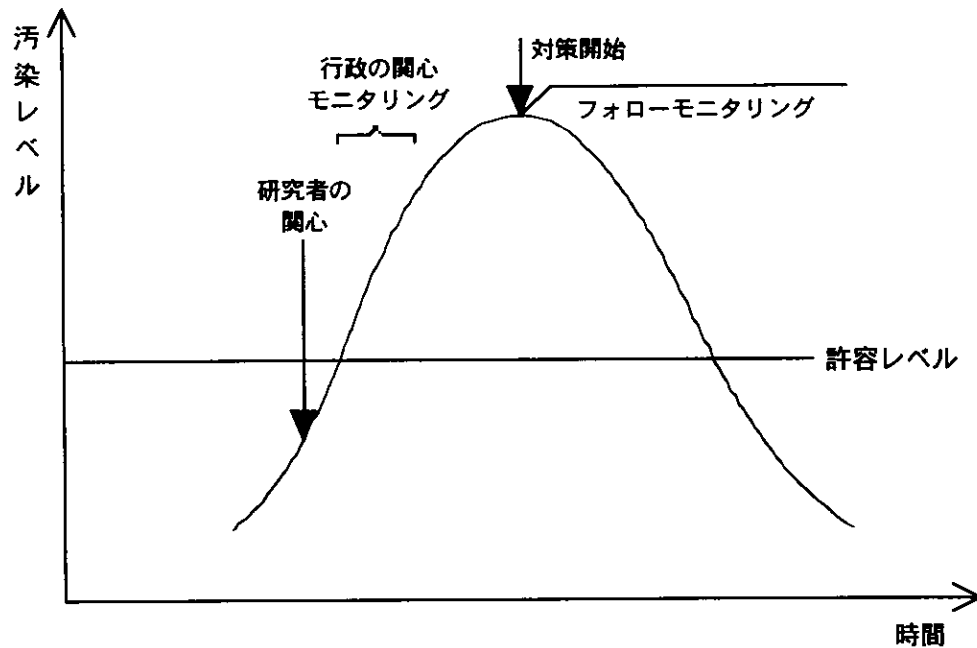


図 2.3 汚染物質による汚染レベルの時間的変化

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、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をもたれている(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。
⑥ C/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、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、私自身がマネジメントの重要性を十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<sub>s</sub> モニタリングに関して技術移転した内容

内容	目標
<p>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</p> <p>高圧ガスの取り扱い（ガスシリンダーの表示法）            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            フィールドニードル・エアブラッグ・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</p> <p>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</p> <p>抽出・クリーンアップ法            溶媒抽出            発煙硫酸処理・脱水</p> <p>GC/ECD による PCBs 定量法            バ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）</p> <p>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            データ処理法            コンピュータ処理（表計算）</p> <p>その他            科学論文の読み方            論文送付リクエストの書き方</p>	<p>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</p> <p>安全なガス使用法            を理解する            資料なしで説明で            きるようになる</p> <p>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</p> <p>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</p>

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 participation:  
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 dump 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ならない。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、次式により水素ポンペでおよそ 4 分の 1 本が導かれる。

$$\begin{array}{c}
 \begin{array}{cccc}
 \text{水素使用量：} 0 & \text{分析時間：分} & \text{試料数} & \text{大気圧：} \\
 \text{1分間当たり} & \text{1試料当たり} & & \text{kg/cm}^2
 \end{array} \\
 \begin{array}{c}
 \nearrow \quad \nearrow \quad \nearrow \quad \nearrow \\
 \frac{0.053 \times 60 \times 9.5 \times 50 \times 1.03}{150 \times 47} = 0.23 \\
 \searrow \quad \searrow \\
 \text{ポンペ圧力：} \quad \text{ポンペ体積：} 0 \\
 \text{kg/cm}^2
 \end{array}
 \end{array}$$

水素ポンペの数 =

このような内容を含めたマネ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に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か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に、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。

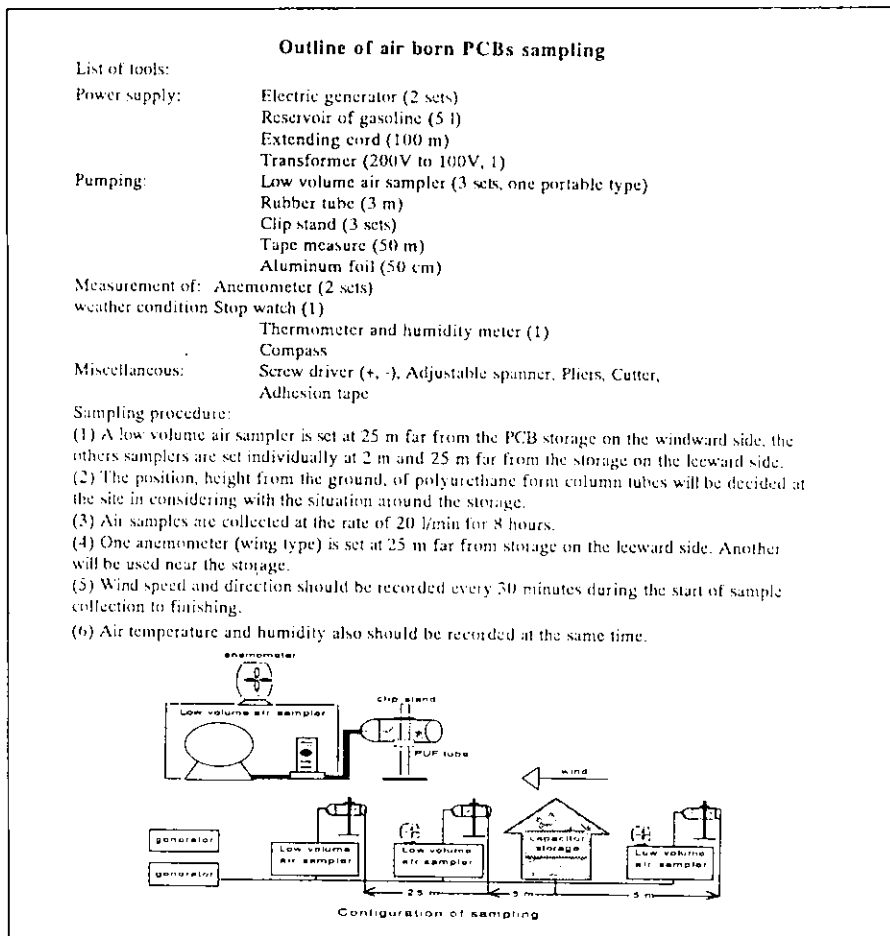


図 2.5 サンプリング方法説明用シート

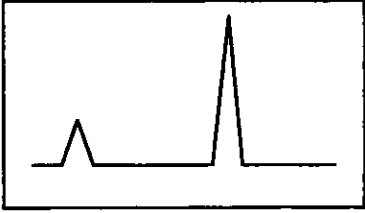
Technique	Criteria	C/P name	C/P name
Gaschromatography principle			
Retention time (Rt)	Usually what is the unit? 	Clear	Clear
	Point the range corresponding to Rt in the above figure?	Clear	Clear

図 2.6 C/P のプロセス

### おわりに

改めて私がおこなった技術移転を振り返ると、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広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「 $1\mu\text{g}/\text{m}^3$  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).