

ノート

簡易 UV 計による有機汚濁測定法の水質モニタリング研修 - フィリピン，キャビテ州カルモナ市を例にして -

加藤進，佐藤邦彦，吉村英基，吉岡理，
岩崎誠二，高橋正昭

River water quality monitoring by portable ultraviolet Photometer case study:Carmona, Cavite Province, Philippines

Susumu KATO, Kunihiro SATO, Hideki YOSHIMURA,
Osamu YOSHIOKA, Seiji IWASAKI and Masaaki TAKAHASHI

筆者らの開発した簡易 UV 計による河川水質モニタリング研修をフィリピン，キャビテ州，カルモナ市の研修生に実施した。研修は 3 日間，パックテスト，透視度計，電気伝導度計および簡易 UV 計の操作法の紹介・実践と得られた結果の評価方法であった。研修生が帰国後，3 箇所で河川水を 1 週間採取し，研修生によって pH, EC および透視度を現地で測定した。さらに，検水を日本に空輸し，簡易 UV 計で COD を研究室で推定した。その結果，Maduya 地点では上流に工場があり，不定期に未処理排水を河川に放流するために，COD が不規則に変動し，河川の水質を簡易に把握できることがわかった。

キーワード：簡易 UV 計，河川モニタリング，発展途上国，フィリピン，COD

はじめに

フィリピンにはたくさんの NGO が存在し，首都マニラを離れた州 (Province) におけるゴミ掃除や河川の自然保護に大きな役割を分担している。マニラから車で約 3 時間南にあるキャビテ (Cavite) 州には，イムス (Imus, 州都)，カウイ (Kawi)，ダスマリノス (Dasmariños)，タンザ (Tanza)，カルモナ (Carmona) およびジェントリアス (Gentrias) 等の都市があり，市内を日本の 2 級河川に相当する程度の河川が流れている (写真 1)。これらの河川は勾配が小さく，流速は極めて遅いので，ゴミが集積している様子がみえる。さらに河川に，家庭や工場からは未処理の排水が大量に流れ込み悪臭や水質汚濁が大きな社会問題になっている。

河川水質のモニタリングは環境天然資源省 (DENR) の管轄であり，予算不足のためにマニラのパシグ (Pasig) 川以外のモニタリングは事実上実施されていない。したがって，パシグ川以外の水質の情報は皆無に近い。もちろん，こういった状況にもかかわらず，上記の都市の自治体あるいは NGO は河川再生プログラム (River rehabilitation Program) を作成し，土手の整備，河川へのゴミ捨ての禁止，防護柵作り等，環境保全に取り組んでいる。しかし，河川再生プログラムの実行に不可欠の水

質把握は，人材不足あるいは測定器具の欠如から実施されていないが，地方自治体による河川水質モニタリングの機運が高まりつつある。



写真1 キャビテ州の典型的な河川

筆者らは，これまでに，東南アジアの各国をボランティア，技術支援あるいは学術講演会で何回も訪問したが，日本で実施した環境技術移転 (研修) の内容が，研修生の自助努力によって継続されている例は極めて少なく，また，長期専門家が帰国するとせっかく現地に展開した事業・観測が停止する場合が少なくなかった。これは，研修する側と受ける側の適地適性技術に対する認識の差異と情報不足に起因する部分が一つの原因と考えられる。

最近になって、ODA の効率や効果の見なおしがなされ、JICA の環境部門でも 2001 年ころから“国民参加型”あるいは“草の根”型の支援部門が追加された。これは、支援の金額は少ないが、上述の地方公共団体の他に、NGO 等も支援対象としたものである。当研究部では、ICETT（国際環境技術移転研究センター）から依頼を受けて比較的短期の水質モニタリング研修を実施している。特に、途上国の現状を考慮し、当研究部で開発した安価な簡易 UV 計を利用した有機物測定に焦点を当て、研修を実施した。

ここでは、当研究部が ICETT から依頼を受けて実施したフィリピン、キャピテ(Cavite)州のカルモナ市を対象とした水質モニタリングをテーマとした自助努力支援型の研修プログラム等において、これらの研修中に遭遇した問題点、対処法およびその後の研修生から空輸された検体の分析結果について報告する。

調査方法

1. 研修対象

研修生には水質汚濁調査・研究に携わる環境省系の技術職員、行政官や化学的な知識の少ない NGO 職員も含まれている。当所で受け持つのは全体研修（水質モニタリング）のなかで研修時間は 1 日から最大 3 日（18 時間）である。研修生には原則として英語で研修を実施した。研修生の人数にも依存するが、原則として各人に 1 台のパーソナルコンピュータを利用して、データ処理と評価の実習も行った。

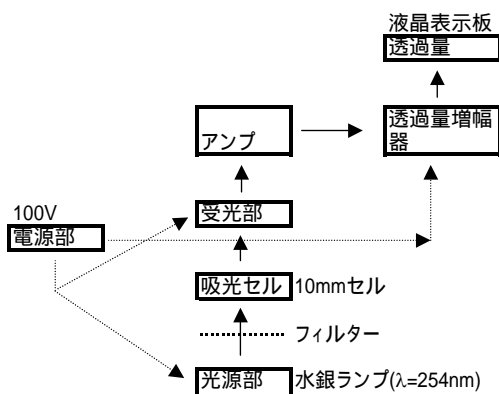


図1 本装置のブロックダイアグラム

2. 簡易 UV 計

大きさは 11 (d) × 18 (w) × 7 (h) cm (約 850 g, 写真 2) で、本機は電源スイッチ、100%調整つまみ (スパンつまみ)、液晶表示部およびセル室から構成されている。測定操作を出来るだけ単純にするために「0%調整つまみ」は除去した。したがって、分析操作は 30 分の暖気運転、100%あるいはスパン調整、試料の測定である。ただし、低価格に押さえるためにディスプレイには透過量 (フルスケール: 1000) が表示されるので、これを 10 で除してから透過率 (%) に直し、関数電卓等で吸光度に変換する必要がある。本機の構成を図 1 に示した (光源には一番安定したエネルギーの得られる水銀ランプの 254nm を利用した)。

なお、本研究でいう「吸光度」とは、試料を適当に希釈して得られる分析化学的吸光度に、その希釈率を乗じたもので、希釈率が 1 の場合、いわゆる分析化学的吸光度に一致する。なお、最近になって、車のバッテリー - を利用できるタイプ (写真 3) で、COD も直読式の装置も開発したので、本年度からはこの装置を利用した研修を実施する予定である。

この簡易 UV 計の特徴は、迅速、安全かつ簡便に COD を推定でき、慢性的な人材・機材不足に悩む途上国にとっては最も適した有機汚濁推定法の一つと考えられ、たとえば、地域住民や NGO にとって河川水質モニタリング手法の一つとして極めて有効と判断した。表 1 には、当所においてこの簡易 UV 計を用いて、各排出源別に JIS-K0102 による酸性 COD-Mn との推定式を示した。排水中に溶存する有機物に相違が考えられ、回帰式の係数にも差が認められる。このように、安価な装置であるが、両者には良好な相関関係が認められる。同様の実験を日本、フィリピンおよびタイで実施し、Standard method の COD-Cr との相関を求めたところ

$$\text{COD-cr} = 170 \times (\text{UV}_{254} \text{ の 吸 光 度 }) \quad (1)$$

なる回帰式を得た^{1,2)}。



写真2 簡易UV計の外観



写真3 2電源(交流・バッテリー)式簡易UV計の外観

3. 研修プログラム

まず, 2001 年にも簡単な水質簡易分析実習(pH 測定, EC 測定, 透視度測定およびパックテスト)を実施しているので, 最初の 1-2 時間を使って模擬排水を利用して, 透視度, pH メ - タ - , EC 計およびいろいろなパックテスト使用技術の再確認とブラッシュアップを実施した. 内容は pH メ - タ - の校正液の利用法(1 点校正) EC 計の表示単位($\mu\text{S}/\text{cm}$ か mS/cm か等)の確認である. 特に対象国の水質汚濁の状況が不明である点と試料溶液中の SS・着色等による妨害を考慮し, 透視度の測定には注意を喚起した. すなわち, 透視度 $< 10\text{cm}$ の試料については試料を 10 倍希釈して以下に述べる UV 吸収を測定することとした.

表1 簡易UV計によるCODの推定式

廃水の種類	データ数	相関係数	回帰式
河川水	62	0.89	$y=15.7X^{0.52}$
冷却水	37	0.62	$y=83.7X^{0.69}$
浄化槽	50	0.78	$y=90.4X^{1.02}$
機械工場	27	0.66	$y=44.5X^{0.67}$
食品工場	13	0.70	$y=13.2X^{0.94}$
自動車工場	9	0.72	$y=96.5X^{1.24}$
木材工場	16	0.98	$y=76.2X^{0.96}$
ゴム工場	17	0.81	$y=29.3X^{1.00}$
その他	32	0.84	$y=63.3X^{0.85}$

次に, UV 計の操作を実習した. スパン液としては, JIS-K0807 に準拠して, $200\text{mg}/\text{L}$ のフタル酸水素カリウム (PHP) を利用した(3). 1 日目の試験液としては, 水道水, 河川水あるいは工場排水を利用した. 2 日目はやや汚染の低い試料について分析実習を実施した. 同時に得られた結果を利用し, COD-Cr を用いた河川汚濁の評価を環境基準との関連性から議論した.

典型的な 3 日間の研修内容を表 2 に示した. 通常このプログラムを 3-4 人のグループ編成で, 2 名の講師で実施する. 各研修生は, 表 3 に示したシ - トに測定結果を記入し, 透過量から吸光度を逐次計算する. 表 3 は, 測定結果による汚染の評価にも利用する.

表2 研修プログラムの例

内容	小課題	Remark
1日目 測定実習(1) 13:00-15:00	Pack-test pH測定 電気伝導度測定 透視度計 UV-meter	時間 mS/ μS 希釈
15:30-17:00	UV-meter/COD計算	
2日目 測定実習(2) 13:00-14:00	pH測定 電気伝導度測定 UV-meter	校正 希釈
14:30-17:00	UV-meter/COD計算 CODの評価	
3日目 測定実習(3) 13:00-16:00	吸光度からCOD計算 エクセルの取り扱い 模擬データの解釈	copy,paste

表3 COD測定研修用のwork-sheet

Sample	Display-read(T)	Transparency(%)	Absorbance	Dilution	COD-Cr
1					
2	548	54.8	0.261	1	44.4
3					
4					
5					

↑ Displayの値を記入
↑ 10で割って透過率に
↑ 対数変換
↑ 推定式からCODを計算

結果及び考察

3.1 カルモナ市の研修生の結果

研修の目的は, 分析室を持たない地方都市レベルで, 簡単な手法によって河川水質をモニタリングすることである. COD 計の性能, 炭水化物の吸光度あるいは硝酸イオンの影響等については以前に報告したので, ここではカルモナ市からの研修生について述べる.

このコースの研修生は、市の職員と NGO の指導者（全員で 2 名）で、両名ともに COD-Cr の分析を実際に実施した経験はない。実習では、1 日目は透視度 30cm 以上と希釈の必要な試料を測定し、2 日目は透視度 30cm 以上でやや汚染の低い試料を取り扱った。表 4 に彼らの測定結果を示した。透視度の測定結果も充分信頼できるものであった。UV 計による透過量の測定もスムーズに進行した。しかし、1 日目のやや有機物濃度の濃い試料に比べて 2 日目では、有機物濃度が低いので吸光度にバラツキが見られた。

研修で一番問題となったのは、

1) 試料の UV 吸収測定のための希釈方法

2) 透過量から透過率(%)さらに吸光度への対数変換であった。1) の希釈は、100ml メスフラスコの変わりに 100ml 比色管を利用した。また、10ml ホールピペットの代わりにオトピペットで対応した。液面の調整には 5-10ml の駒込ピペットで対応した。2) では NGO の職員がはじめてここで表計算に取り組んだ。特に、本機は価格を安く押さえたために吸光度は測定できない。透過率から吸光度への対数変換をする必要があり、この計算に戸惑いをみせた。しかし、ゆっくりと時間をとって、研修生自身にキ操作をさせたところ、2 日目には、グラフも描けるようになり、「表計算が面白い」といい始めた。

3.2 最終研修プログラム

以上の研修と前回の報告から、研修生の構成（技術者/NGO）によって、研修内容を適宜変更した方がよりスムーズに研修が展開できるように思われた。すなわち、研修の中で一番問題になったのが、COD の計算方法であった。3.2.では透過量から吸光度への変換についての問題点を述べたが、得られた吸光度に具体性を持たせるには COD-Cr に変換した方が環境基準との比較や水質評価の上で好都合である。

すでに述べたように、我々は、タイ、日本およびフィリピンのいろいろな検体から UV254 と COD-Cr の関係を最小自乗法で求め、 $COD-Cr (mg/l) = 170 \times UV254nm$ を提案してきた。しかしながら、これまでに実施した研修の中では(1)式の 170 という係数の意味が理解できない研修生も見られ、「検量線はどのように作るのか?」という技術系研修生の質問にたびたび遭遇した。

そこで、現在は UV 計を改造し、吸光度の演算回路とこの演算回路に(1)式を組み込んで、UV による COD を自動計算するように改造し、NGO 系の研修生では数値の変換よりも、研修の力点を得られた値の評価に重点を置くこととした。

一方、技術者を対象とした研修では、Standard Method

に準拠し 200mg/L のフタル酸水素カリウム溶液を順じ希釈して検量線を作成し、フタル酸水素カリウムに換算した COD-Cr の推定によってこの部分の混乱を取り除くこととした(もちろん、170 の意味が理解できる場合には問題がない)。したがって、現在の研修コースは図 2 のとおりである。

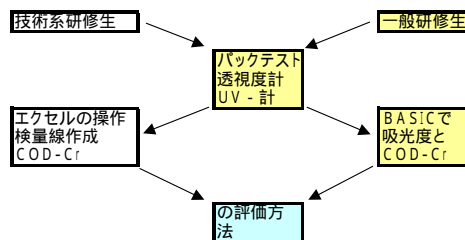


図2 研修生の種類による研修コース分け

3.3 研修生が採取し空輸検体の分析結果

2003年2月26日～3月4日にかけて研修生が実施した同州カルモナ市におけるモニタリング結果を表5に示した。測定は2河川で、2地点で実施されている。これらの地点の中で Maduya は工場排水が流入している地点で、残りの地点は通常の生活排水が流入する河川である。この事実を反映して、pH、EC および COD-UV の変動が Maduya では著しくなっている。特に Maduya では、工場からの流入負荷のない場合には、COD は 4-10mg/L であり、Pasong の COD よりも低い濃度を示している。これに対して、Pasong の COD は比較的安定している。また、表5には Pack-test（現地）での結果も記載した。Maduya では比較的 COD-UV と類似した傾向を見せるが、2月28日のように4倍ほど Pack-test の方が高い例や、逆に3月2日のように Pack-test の方が COD-UV の 1/2 の濃度に近い場合もあった。一方、Pasong では全体的に Pack-test の方が高い COD となっている。参考までに鈴鹿川（三重県北勢部の1級河川）と水質を COD-UV で比較すると、Pasong では概ね5倍の濃度、Maduya では高濃度時は、鈴鹿川の10倍程度となっている。

有機汚濁および懸濁性物質による汚染の目安として、透視度を現地で研修生が測定している。透視度（2月27日）が 8cm と低いにもかかわらず、吸光度が低い場合があり、今後この原因を追求する必要があると考えられるものの、地方自治体でもこの手法で十分に水質モニタリングが可能と思われた。なお、このコースには予算の関係で本装置を現地に提供できなかったが、pH、EC および透視度は現地で研修生が測定し、COD-UV は現地から試験液を空輸し、筆者らが測定したものである。

なお、表5には空輸したサンプルのその他の項目の水質分析値を示した。途上国の中小河川の水質は殆ど報告

表4 研修生の測定結果

(1日目)

試料番号 NO.	研修生 1				研修生 2			
	pH	EC(μ S/cm)	透視度(cm)	吸光度	pH	EC	透視度	吸光度
1 河川水	8.2	100	30 <	0.019	8	100	30 <	0.025
2 工場廃水	8.5	1120	25	0.550	8.4	1090	28	0.545
3 工場廃水	8.4	1400	5.0	0.093	8.6	1370	4.1	0.100
4 工場廃水	6	180	30 <	0.939	5.8	173	30 <	0.950
5 合成試料	6.5	440	10	0.123	6.5	430	11	0.111
6 合成試料	< 5	2400	27	0.458	< 5	2300	29	0.450
7 合成試料	< 5	1000	30 <	0.081	< 5	970	30 <	0.063
8 河川水	6.9	99	30 <	0.347	7	100	29	0.355
9 河川水	7.5	110	30 <	0.172	7.5	120	30 <	0.180

pH: パックテストによる

(2日目)

試料番号 NO.	試験排水	研修生 1				研修生 2			
		pH	EC	透視度	吸光度	pH	EC	透視度	吸光度
1 工場排水1		9.8	200	50<	0.128	9.8	210	50<	0.130
2 工場排水2		3.8	420	50<	0.066	4.1	420	50<	0.071
3 工場排水3		10.3	790	14	0.394	10.1	770	15.5	0.401
4 工場排水4		10.1	370	50<	0.159	10.3	380	50<	0.147
5 砂糖水		6.9	100	50<	0.004	6.6	108	50<	0.006
6 PHP		6.1	62	50<	0.830	5.9	58	50<	0.833
7 1日目の5		7.4	440	50<	0.125	7.6	450	50<	0.131

pH: 簡易pH計による測定

例が無いので合わせて記載する。データが少ないが、この値をもとに河川の水質を鈴鹿川と比較すると、TPの濃度は約10倍ほど高くなっている。また、TN濃度も3~5倍程度高いといえる。また、鈴鹿川では感潮部分を除くとECは100-200 S/cmであるが、カルモナ市の測定点は感潮部分ではないにも関わらず5倍~10倍ほどECが高いことが特徴である。

Na⁺(当量)とCl⁻(当量)には良好な対応関係があるが、表5にも示したように、Na⁺/Cl⁻の当量比もMaduyaとPasongでは異なり発生源が相違することを意味している。なお、PasongのCl濃度は鈴鹿川の2倍程度で、日本の中小河川と大差がない濃度である。しかし、Maduyaでは工場廃水が流入することからCl濃度もPasongの5~10倍高くなっている。亜熱帯の河川のためか、NO₂は殆ど検出されていない。NH₄⁺の濃度は、鈴鹿川に比べると100倍ほど高いが、無機態窒素(DIN)は殆どがNO₃であるといえよう。一方SO₄²⁻であるが、これも鈴鹿川に比較するとやや3~5倍程度高い濃度となっている。

まとめ

改良型の簡易UV計による有機汚濁測定研修を、途上国の水質モニタリングコース研修生に実施した。その結果

- 1) 2日程度の研修時間で、河川水質モニタリングのための簡易UV計によるCOD-Cr推定法の技術移転は

概ね可能である。

- 2) 効果的な研修を実施するには、研修生によって技術系のコースと一般系のコースに分類することが推奨される。
- 3) 研修生による水質モニタリングによって、今後検討する課題(低透視度, 低COD)もあるものの、河川の水質汚濁の概要が徐々に把握された。たとえば、フィリピン、キャピテ州、カルモナ市での試行結果では、Maduya地点は工場廃水の影響を受けて水質変動が確認できたし、Pasongでは水質が比較的一定していることがわかった。今後、研修方法にさらに検討を加えてより理解のしやすい研修コースとしたいと考えている。

謝辞

本研修を実施するにあたりご協力を賜った増田健(ICETT研修部)、村山政充(ICETT技術顧問)氏、山本晃道、大西隆(ICETT)氏および児玉、小宮(環境事業団、東京)氏、研修に協力していただいたフィリピン研修生の皆さんにあつくお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 加藤進, 佐藤邦彦, 高橋正昭, 下野幸昌: 発展途上国を対象とした簡易UV計による有機物汚濁測定法, 環境技術, 32, 575-581(2003)

- 2)S..KATO et.al., : International cooperative studies on
 COD-estimation in river and wastewater by portable
 ultraviolet absorbance photometer, Waterqual-2003,
 Bangkok(2003)
- 3)日本工業規格 : JIS-K0807

表5 MaduyaとPasongの水質分析結果

Mad	EC(μS/cm)	pH	UV254'	COD-Mn	COD-pack	透視度(cm)	TP	TN	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Na/Cl(Eq)
26-Feb	5280	11.34	0.975	58.5	70	9.5	0.22	28.0	832.0	5.2	140.0	840.0	2.0	1.6
27-Feb	534	8.54	0.086	5.1	0-5	21.0	0.26	6.0	60.0	7.9	23.2	71.0	3.5	1.8
28-Feb	990	9.02	0.142	8.5	40	15.0	0.57	10.2	153.0	12.2	40.5	143.0	5.4	1.4
1-Mar	494	9.26	0.167	10.0	45	13.0	0.53	5.2	63.8	2.4	23.5	54.2	3.2	1.3
2-Mar	1309	9.67	1.021	61.3	30	5.5	0.46	12.0	214.0	6.2	62.8	234.0	5.3	1.7
3-Mar	682	8.59	0.071	4.3	0-5	27.0	0.31	7.7	87.2	4.3	63.7	95.4	6.5	1.7
4-Mar	1827	8.06	0.148	8.9	20	8.0	0.57	15.6	335.0	14.5	154.0	379.0	9.9	1.7
Pasong	EC	pH	UV254'	COD-Mn	COD-pack	透視度	TP	TN	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Na/Cl(Eq)
26-Feb	470	7.77	0.439	26.3	50	36	0.11	15.0	15.9	9.9	87.9	44.4	4.2	4.3
27-Feb	422	8.13	0.253	15.2	20	35	0.17	6.8	23.7	5.2	61.9	36.5	3.5	2.4
28-Feb	466	8.25	0.307	18.4	30	27	0.03	5.2	23.1	9.6	80.9	43.3	8.3	2.9
1-Mar	393	8.64	0.348	20.9	40	25	0.11	9.6	18.9	4.0	50.1	31.8	3.9	2.6
2-Mar	640	8.42	0.349	20.9	45	30	0.10	5.5	39.0	12.6	138.0	71.6	6.2	2.8
3-Mar	591	7.8	0.592	35.5	40	39	0.45	8.3	30.8	11.0	101.0	66.0	5.1	3.3
4-Mar	603	7.62	0.493	29.6	40	33	0.42	7.3	28.6	13.3	122.0	61.0	7.0	3.3

鈴鹿川の水質(5/24)

	EC	pH	UV254	COD	COD-pack	透視度	TP	TN	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	NH ₄ ⁺	Na/Cl(Eq)
1	202	8.28	0.042	4.6	0-5	50 <	0.056	3.3	18.3	12.7	19.1	14.7	0.04	1.2
2	205	8.50	0.028	3.1	0-5	50 <	0.039	2.9	19.1	11.8	24.5	16.1	0.02	1.3
3	194	8.19	0.027	3.2	0-5	50 <	0.024	2.9	15.8	12.7	24.5	14.1	0.06	1.4
4	173	7.91	0.025	2.9	0-5	50 <	0.021	1.5	15.3	6.2	20.7	13.7	0.03	1.4
5	143	8.01	0.014	2	0-5	50 <	0.006	1.1	15.3	4.0	13.5	11.5	0.06	1.2

UV254':簡易UV計による吸光度、CODはこの値による推定値
 濃度はmg/L