

研究報告

フィリピンの最新水質環境

加藤 進

フィリピンの水質環境について、環境白書、現地調査および水質保全のための Environmental User's Fee について紹介した。マニラ湾に注ぐラグナ湖から唯一流れ出る Pasig川の水質は最近悪化している。また、フィリピン最大のラグナ湖の水質も、CODおよび栄養塩類の濃度で現在と 1970-1980年代を比較すると、水質が悪化している。さらに、ラグナ湖で月間降水量と表面塩素濃度の関係を見ると、両者には時差相関が存在し、ラグナ湖集水域における保水機能が良好であることが伺われた。Environmental User's Fee は、政府にとっての環境保全上の税収入としてきわめて重要であり、今後その資金のラグナ湖開発庁 (LLDA) における活用方法が期待される。

1. はじめに

フィリピンは海に囲まれた島国で、気象状況を除くと比較的日本に地理的な条件が類似している。特に、河川はその幅が狭く、流路も短い。したがって、山間部での雨水はおおむね 0.5日程度の流下時間で湖沼や海岸にたどり着く。このために、生物化学的な河川浄化は期待し難がたい。さらに近年の著しい都市部への人口集中、生活水準の向上による使用水量の増大、河川流域に分散した零細工場からの排水によって、集水域としての湖沼や海岸の水質は著しく悪化している。

大部分の発展途上国に見られる水質汚染がそうであるように、フィリピンでも工場由来の汚染と生活由来の汚染が共存する中で住民は生活している。たとえば、メトロマニラを貫流するパシグ(Pasig)川は、水上交通の要であるとともに未処理の工場排水、生活排水を受け入れると共に、あらゆる種類の生活廃棄物が浮遊している状態にある。特に、サンファン川 (San Juan、後述するラグナ湖に流入する同名の河川とは別) が合流する地点では水色は黒く変色し、悪臭を漂はせている。

一方、フィリピンで一番大きなラグナ湖 (Laguna de Bay) には、大小 21の河川が流入し、生活の急激な変化に伴う流入汚水の増加や工場排水の流入により沿岸部の水質が悪化し、大き

な環境問題となっている。さらに、ラグナ湖ではテラピア等の養殖が行われており、養業飼料による自家汚染も水質汚濁を助長している。

他方、最近の水不足から、ラグナ湖水を脱塩して飲料水に利用する計画があり、フィリピンの「水カメ」にも利用される可能性がある。

筆者はフィリピンの工場の排水処理施設を見学したり、現地で河川水等を採取・分析する機会に恵まれた。ここでは、三重県環境科学センターで受け入れた環境研修生から得られた環境事情、最新版のフィリピン環境白書のデータおよび水質汚濁防止対策としての環境使用税 (Environmental User's Fee) について紹介する。なお、フィリピンの環境行政組織については既存の参考書<sup>1)</sup>および報告書<sup>2)</sup>を参照されたい。

2. 環境白書からみたフィリピンの水質環境

2.1 河川水質

ここでは典型的な河川としてマニラを流れる Pasig川を取り上げる。この河川は、現在諸外国から水質汚染防止対策としての河川再生事業 (River Rehabilitation Programe) についての支援がなされている。Pasig川には支川も含めてモニタリング箇所が9地点ある。これらの地点における水質状況は、国家天然資源省 (Department

表1 1990-1995年のPasig川のBOD/DOレベル

地点	BOD (mg/L)			DO (mg/L)		
	最大値	最小値	6年平均値	最大値	最小値	6年平均値
Bonifacio	10.1	4.8	6.7	5.9	4.8	5.4
Vargas	24.6	17.1	21.0	4.1	1.8	2.9
Laguna de Bay	5.9	3.8	4.6	10.0	5.4	6.8
Bambang	21.8	6.1	11.7	4.4	3.2	4.0
Guadalupe	17.7	7.3	10.4	3.7	2.4	3.3
Ampingan	23.7	9.8	15.8	3.5	2.0	2.9
Sanches	51.6	29.7	40.6	1.4	0.7	1.2
Jones	24.1	13.9	17.4	3.1	1.8	2.4
Manila Bay	6.3	4.0	4.8	6.3	4.5	5.0

Of Environment and Natural Resources: DENR) 配下の EMB (Environmental Management Bureau) の測定によれば<sup>3)</sup>、表1の通りである。ここで溶存酸素 (DO) はDO電極によって濃度が測定されている。なお、表1で示された地点 Bonifacioと地点 Vargasは Pasig川の支川である。

上述したように、San Juan川が合流するサンチェス (Sanches) 以降の水質は、かなり悪化していることがわかる。グアダルルーペ (Guadalupe) 付近の栄養塩類と大腸菌群数の状況を図1および図2の通りである。大腸菌群数は、おおむね  $10^6$  MPN/100mLで栄養塩類濃度は高く、この値は日本の汚濁の進行した都市貫流河川の濃度に相当する。フィリピンにも日本の水質環境基準に相当する水質基準が存在するが、実際の河川の汚濁状況は基準よりも遙かに高いものである。

2.2 ラグナ湖とその流域河川の水質

ルソン島中央部に位置するラグナ湖は、平均深度:2.8m、表面積900km<sup>2</sup>、湖体積:3.2×10<sup>9</sup>m<sup>3</sup>、及び流域面積:3800km<sup>2</sup>である<sup>4)</sup>。ラグナ湖と流入河川の位置概要を図3に示した。モニタリングはDENR配下の LLDA (Laguna Lake development Authority) および Philippines大学の Los-Banos 分校で不定期にモニタリング (位置不明) がなされている。1995年の LLDA測定結果によれば、ラグナ湖汚染負荷に及ぼす発生源別寄与率は、農業系寄与率は、農業系が 40%、工場系 30%、

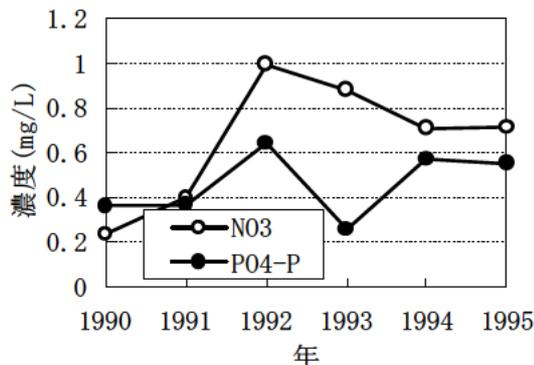


図1 Pasig川の栄養塩類濃度

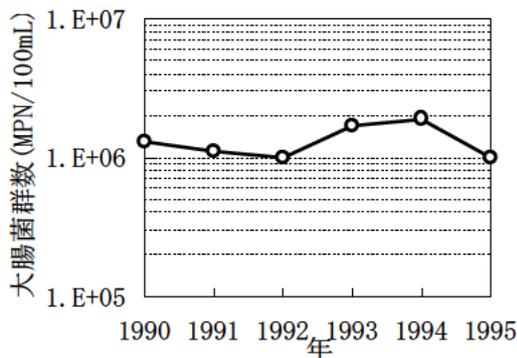


図2 Pasig川の大腸菌群数

生活系 30%である。ラグナ湖に流入する主な工場系排水の種類は、食品排水、と殺場排水 (養豚場を含む)、染料および繊維排水および紙・パルプ排水等である。1994年、LLDAの統計によると、ラグナ湖に排出される排水負荷量は表2の

表 2 ラグナ湖の発生源別負荷量 (tons/年)

発生源種類	発生量 (実績)	その内ラグナ湖への流入負荷量		
	1990年	1990年	1995年 (推定)	2000年 (推定)
生活排水	275,704	38,530	47,810	61,220
非点発生源	4,150	4,160	5,250	6,424
工業	53,259	38,489	58,766	92,185
農業	39,098	15,984	19,585	25,787
Pasig川*)	13,400	13,400	16,900	21,300

\*) : Pasig川からの逆流による汚染負荷

通りである。現在ラグナ湖沿岸には 1481社が汚水発生源として存在し、この中で 695社は何らかの排水処理装置を設置しているが、これだけでは、水質浄化は不十分で湖水の水質は悪い。

一方、ラグナ湖の水質を議論するには、フィリピンの気象を考慮することも重要である。フィリピンの季節は、乾期 (dry season) と雨期 (wet season) の2つである。ラグナ湖沿岸部では、乾期は11月から4月、雨期は5月から10月までの各々6ヶ月である。図4には、1960年から1996年における降水量と全地点を平均した表面塩素濃度の関係を示した<sup>5)</sup>。雨期には湖面への直接の降水と、河川からの流入水によって湖水の表面塩素イオン濃度は著しく低下すると推定されるが、実際は図4に示したように、塩素イオン濃度の低下は降水時期よりもやや遅れて発生する。

図5(a)には降水量と全観測地点 (図3参照) の平均塩素イオン濃度の関係を示した。ここでは、両者の間に相関関係は認められない。しかしながら、遅れを3ヶ月 (t=3) として両者の時差相関を見ると (図5(b))、R=0.7程度の相関が得られる。この理由としては、ラグナ湖の集水面積が極めて広く、山林や平野に降った雨は土壌を通過して地下水あるいは湧水としてラグナ湖に供給される部分が多いためと考えられる。このような能力を有する集水域は、水の涵養を高めるにきわめて重要な役割を演じることから、このような貴重な能力を破壊せずに温存政策を講じるべきである。

1970~1980年代の塩素イオン濃度<sup>6)</sup>と1996年のLLDA発表<sup>4)</sup>の塩素イオン濃度の比較を図6に示した。1970~1980年代の全測定地点の平均塩素イオ

ン濃度は40~160mg/L (平均値: 75mg/L) であるが、最近の塩素イオン濃度は80~170mg/L (平均値: 147mg/L) である。

はじめにも述べたように、ラグナ湖の平均深度は2.8mといわれている。LLDAによれば現在はまだ少し低下し 2.5m程度とのことである<sup>7)</sup>。ラグナ湖の表面積が変わらず、単に濃縮が起こったと仮定すると、その比率は  $2.8/2.5 = 1.12$  となり、単純には 1.12倍に濃度が高くなることになる。そこで塩素イオン濃度は計算上  $75 \times 1.12 = 84\text{mg/L}$  となる。しかし、実際は 147mg/L でかなり計算よりも濃度が高いことから、なんらか他の要因による負荷量の増加が示唆される。

一方1973年から1977年の栄養塩類濃度<sup>6)</sup>をみると、全測定地点の無機態リン(DP)の年間平均値は 0.1~1.0mg/L で、乾期と雨期では 4~5倍の変動が認められる。同様に  $\text{NO}_3\text{-N}$  は 0.02~0.4mg/L であり、やはり乾期と雨期では著しい差異が認められる。これに対して、最近の観測結果を図7~9に示した。無機態溶存リン酸 ( $\text{DPO}_4$ ) はおおむね 0.04~0.1mg/L の範囲で平均値は 0.077mg/L、 $\text{NO}_3^-$  濃度は、0.01~0.15mg/L で平均値は 0.041mg/L、 $\text{NH}_4^+$  は 0.01~0.45mg/L で平均値は 0.08mg/L である。 $\text{NH}_4^+$  と  $\text{NO}_3^-$  は、共に、6月から10月まで比較的濃度が低い傾向が認められる。 $\text{NO}_3^-$  については1970年代も現在と同様の傾向が認められた。

フィリピンでは有機汚濁の程度を示す COD は重クロム酸法で測定されている。従って、その値は我が国で用いられている酸性過マンガン酸法に比較すると高い傾向にある。CODを1996年と1986年で比較したのが図10である。7月と8月の

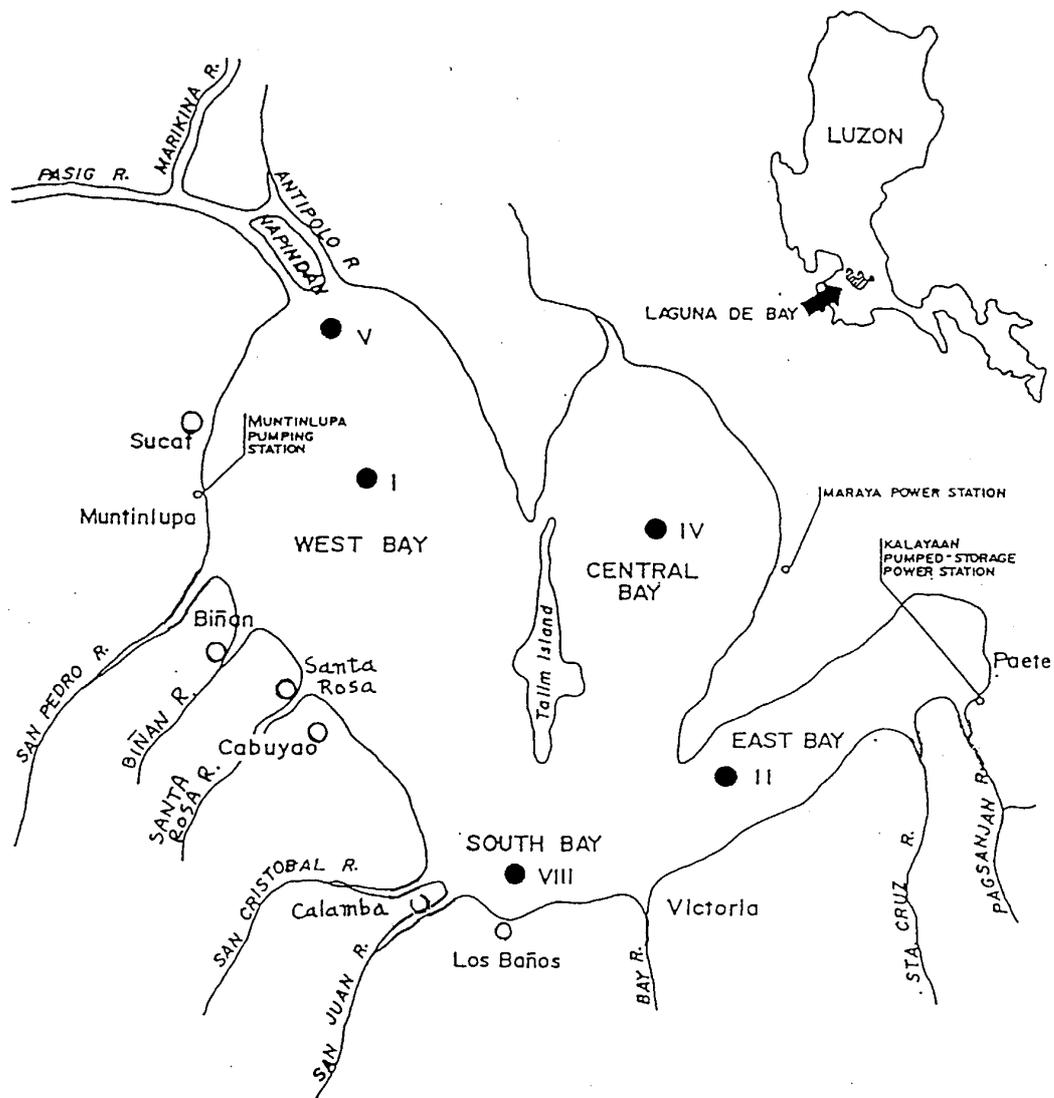


図 3 ラグナ湖と流入河川の位置関係  
 (I~VIIIは、LLDA の測定地点)

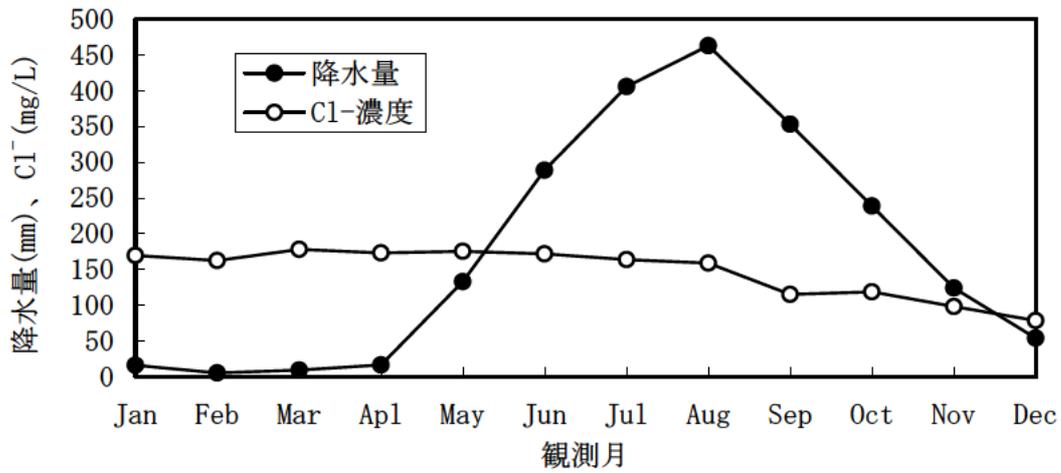


図4 マニラにおける降水量とCl⁻濃度の月変化(1960-1996年)  
データは理科年表から引用

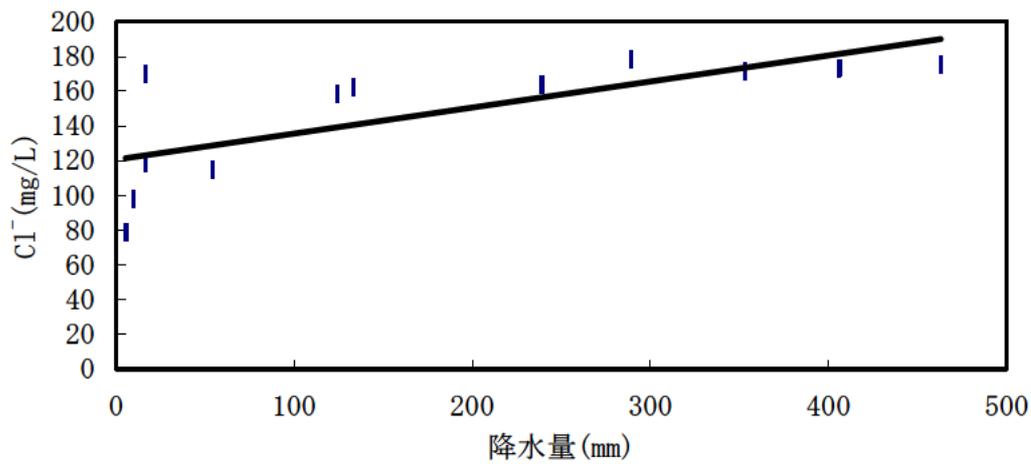
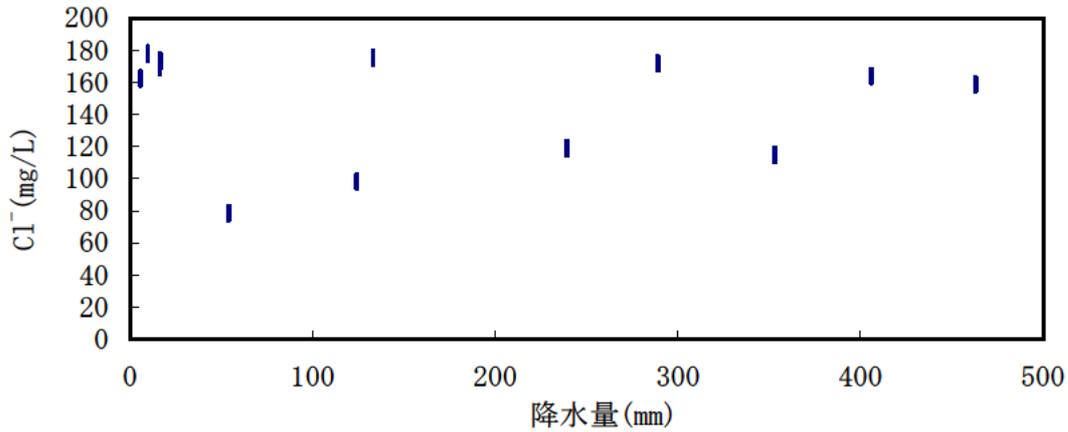


図5 ラグナ湖における降水量とCl⁻濃度の関係 (1997年)

上図は時差を無視 (t = 0) とした散布図  
下図は時差を t = 3カ月とした散布図

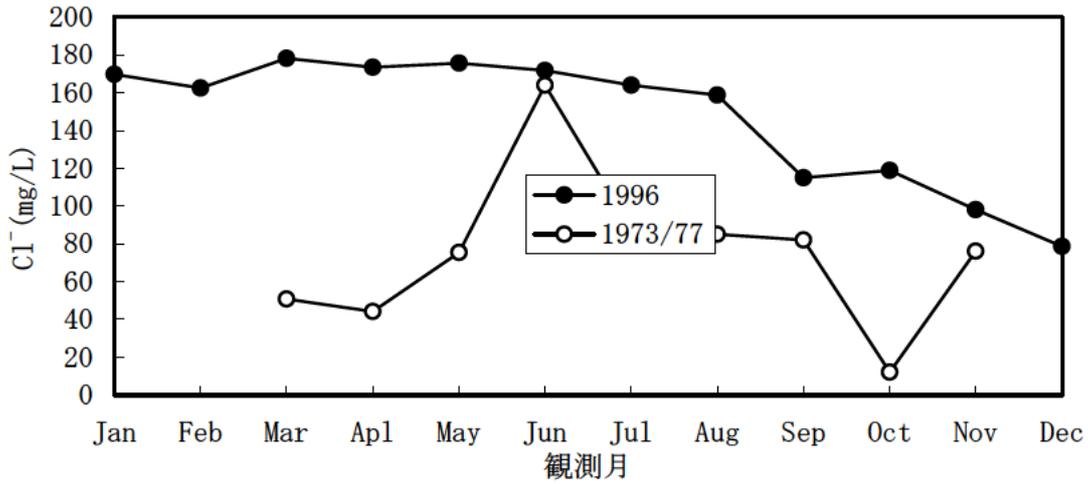


図6 1970年代と1996年のラグナ湖表層水のCl<sup>-</sup>濃度の比較

LLDAとILECのデータから作成

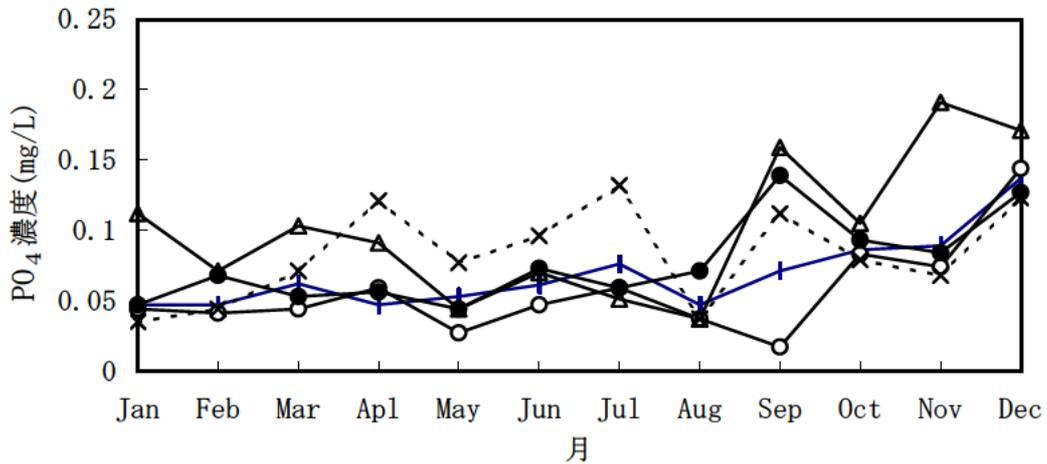


図7 ラグナ湖の無機態溶存リン酸濃度の月変化 (1997年, LLDA提供)

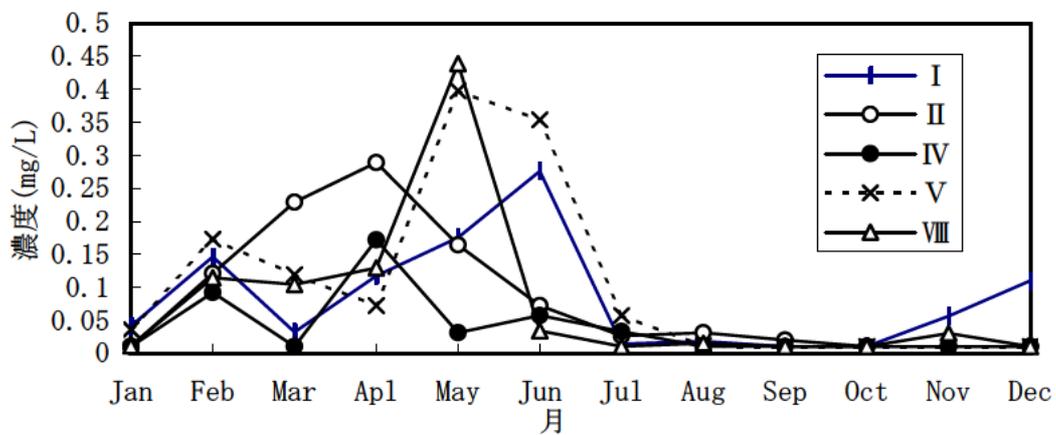


図8 ラグナ湖のNH<sub>4</sub><sup>+</sup>濃度の月変化 (1997年, LLDA提供)

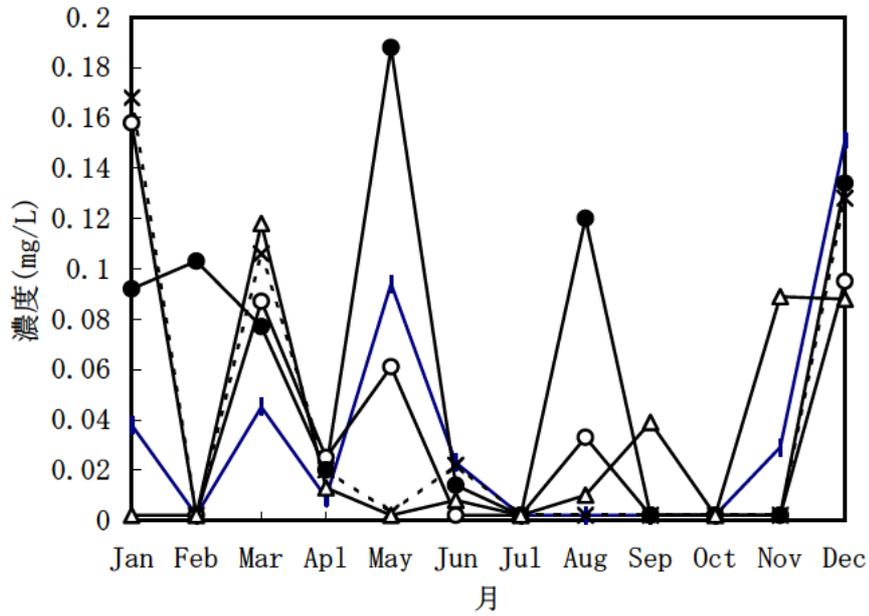


図9 ラグナ湖のNO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度の月変化 (1997年, LLDA提供)

図中の記号は測定点で図3にその地点を示す

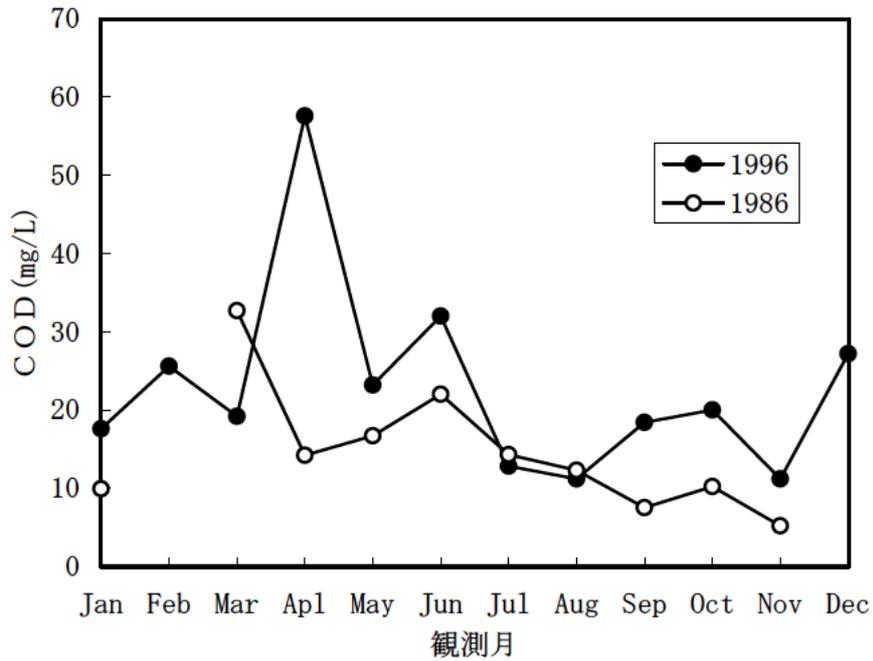


図10 1986年と1996年におけるラグナ湖のCODの比較

フィリピンのCODは重クロム酸法であり  
日本のCODよりも値が高い。  
(LLDAとILECのデータから作成)

表3 ラグナ湖の水質変動

観測日	PH	COD <sup>*1)</sup>	透視度 (cm)	塩素イオン濃 度(mg/L)	全リン (TP)	全窒素 (TN)
11月15日	7.0	12	16	136	0.22	1.0
11月16日	8.0	48	6			
11月17日	8.0	12	17			
11月18日	7.5	4.8	23			
11月19日	8.0	20	11			

\*1) : PACK TESTによる

濃度には大差が認められないが、3月を除きその他の観測月においては1996年のCODが1986年のCODよりも高い。

### 3. 現地調査からみた湖沼の水質

ロスバニユス (Los Banos) 岸のラグナ湖で、毎朝 6時にサンプリングした水質の状況を表 3に示した。Cl、TP (全リン) とTN (全窒素) は持ち帰って常法で分析したが、採水場所が岸に近く生活排水も影響を受けているせいもあって、モニタリング点の平均値に比較すると、TPとTNはやや高い値を示した。

なお、観測日中にやや台風性の日 (11/15) があり、激しい雨と強い風によって湖水が激しく攪拌されたことから、翌日のCODは著しく増大し透視度は著しく低下した。湖岸と湖水の中央部分では水質変動も異なると思われるが、一夜にして湖水の色が茶色に変化したのには驚いた。LLDAのDr.Tomboc (Acting General Manager) によれば、もっと激しい攪拌が起こるときもあるとのことであった。なお、ラグナ湖岸でレキに付着した珪藻を採取し、過去に採取された珪藻による水質汚染状況と現在の状況を渡辺らのDAIpoを用いて比較した結果が近く明らかにされるので、興味のある読者は日本珪藻学会誌を注目されたい<sup>8)</sup>。

### 4. 環境使用税 (Environmental User's Fee)

LLDAとDENRではラグナ湖に流入する工場排水の負荷量を制限し、湖水の水質をこれ以上悪化させないために、工場から排出される排水の量とBOD濃度 (現在はPhase 段階で主に有機性排水に重点を置いている、Phase では、有害物質等を排出する企業排水への適用を考えている) に応じ

て税金を徴収し、この税金をLLDA組織・備品の充実、沿岸住民の環境啓発活動支援あるいは企業向けの水質汚濁防止講習会等の資金にあてている。この税金の名称がEnvironmental User's Feeである。これがフィリピン的な考え方のPolluter Pay Principleの実現である。同様な観点から、タイでもタイ環境研究所 (Thai Environment Institute:TEI) のDr.Qwanrudee女史が更に改良された同種の手法を提案している<sup>9)</sup>。

LLDAでのこの税金の成功から、今年からはこの手法がフィリピン全域で実施されるとのことである<sup>10)</sup>。さらにDENRでは、大気についても同種の方針の実施を固めているとのことである。

この税は固定税と変動税の2種類から構成されている。すなわち、

$$\text{Environmental User's Fee} = \text{固定税} + \text{変動税}$$

固定税は、日間平均排水量が150m<sup>3</sup>以上ならば、15,000P (ペソ) で、日間排水量が31m<sup>3</sup>より大きく150m<sup>3</sup>未満ならば10,000P、そして日間排水量が30m<sup>3</sup>以下ならば、5,000Pである。さらに、変動税は、排水中のBOD濃度によって、

$$\begin{aligned} \text{BOD } 50\text{mg/L} & \quad 5\text{P/kg-BOD} \\ \text{BOD } > 50\text{mg/L} & \quad 30\text{P/kg-BOD} \end{aligned}$$

である。さらに、年間BOD負荷量は

$$\begin{aligned} \text{年間 BOD負荷量} &= \text{BOD平均濃度 (mg/L)} \times \\ & \quad \text{日間平均排水量 (m}^3/\text{day)} \times 300 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

で与えられる。ここに、300は年間平均工場稼働日数である。従って、日間排水量が100m<sup>3</sup>で、BOD

が 50mg/L の中小企業排水を仮定すると、Environmental User's Feeは以下の通りである。固定税は 10,000Pである。BOD濃度は 50mg/Lであるから変動税は 30P/kg-BODである。すなわち；

$$50(\text{mg/L}) \times 100(\text{m/day}) \times 300(\text{日}) \times 10 \\ = 1500(\text{kg})$$

であるから、 $5 \times 1500 = 7500\text{P}$ 。従って、Environmental User's Feeは

$$\text{Environmental User's Fee} = 10000 + 7500 \\ = 17,500\text{P/年}$$

である。しかし、日間平均 BODが 50mg/Lを超過すると課税率が多くなり、51mg/Lでは、 $30 \times 1530 = 45900\text{P}$ なので、

$$\text{Environmental User's Fee} = 10000 + 45900 \\ = 55,900\text{P/年}$$

の約3.2倍となる。約 1400社からこれらの税金を取るの税収はかなりの額になると推定される。従って、市外の工業団地では団地内に終末廃水処理装置を設置し、できるだけ BOD濃度を下げ、排水量を減少させる努力を強いられることとなる。もちろん排水の監視は DENRの地方事務社が実施することになるが、その検体数は DENRのラボ分析能力を遙かに超過する。

そのために、これらの検体を分析するために分析値に公的な証明力はないが、数社の民間の計量機関が営業を開始している。

## 5. 民間計量機関

マニラに存在する民間計量機関の測定データは、日本のように法的な効力を有するわけではなく、あくまでも参考値で、正式なデータはDENRの発行した計量証明による。今回は、その代表的な民間機関である SGS 社 (SGS Laboratory, Don Tim Building, 5468 South Super highway, Makati, Manila)を訪れる機会に恵まれたので、その状況について報告する。当該機関には、大きく環境、農業、鉱業および燃料の各セクションが存在する。

ここでは、環境セクションについて述べる。このセクションは、以下の3部門に分かれている。

- 1) 排水分析部門 (細菌試験、物理・化学試験、有機成分)
- 2) 大気分析部門 (環境大気分析試験、微量分析)
- 3) 固形廃棄物/スラッジ部門 (物理・化学試験、微量分析)

また、分析等では、表4に示すように細分化されている。前にも述べたように、分析法は国の機関で採用されている Standard Methodに準拠している。

大気に関しては、DENRが解説書によって煤塵や NOx等に関する測定方法を明らかにしている<sup>11)</sup>

水質関係に関するそのような解説書については見あたらない。なお、分析価格については、DENRの試験室が決める価格表の最大 50%増のことであった。

## 6. まとめ

国家投資局 (Board of Investment:BOI)の環境室 (Environmental Unit) 及び科学技術省の産業技術研究所 (Industrial Technology Developing Institute)を訪問した際に、担当官や所長はフィリピンの環境保全の現状・問題点をきわめて正確に分析・把握しており、同時に具体的な対策も有している印象を受けた。今その中で現在の一番の障壁は、予算の捻出と住民の環境教育 (一般的教育水準の向上も含む) であり、さらに中小企業家の環境保全に関する意識の啓蒙であることが強調された。一方、日本の技術援助にはお礼を言いたい、フィリピンの現状認識や要求の詳細が日本からの派遣者に正確に伝達されていないこと、また、英語力不足によるコミュニケーション不足がいなめないとの苦言も頂いた。この意味で、我田引水的なところはあがるが、本報告が技術移転に携わる関係各位の何らかの参考になれば筆者ら望外の幸せである。

## 参考文献

- 1) 通商産業省通商政策局経済協力部：アジアの環境の現状と問題点、(財)通商産業調査出版部、東京 (1977年7月)、pp.96-97.

表4 民間計量機関における分析項目

分野	試験種類	分析項目
水質	有機物分析 (ガスロマトグラフ)	残留農薬、有機塩素化合物、有機リンPCB
	化学分析	pH、硬度、酸度、アルカリ度、態別窒素、塩素、フッ素 全リン、硫酸イオン、油分、溶存酸素 界面活性剤フェノールシアン、BOD、COD
	微量分析 (7元素原子吸光法)	Al、As、Ba、Bi、Ca、Cd、Co、Cr、Fe、Pb、Mg、Mn、Hg、Ni、K Se、Ag、Na、Sn、Zn
	細菌試験 物理試験	一般細菌、大腸菌群数、サルモネラ菌、腸炎ビブリオ 色、電気伝導度、総固形物、塩分、濁度、温度
大気	大気汚染物質	SO <sub>x</sub> 、NO <sub>x</sub> 、TSP
	細菌試験	一般細菌、大腸菌群数
	微量分析 (7元素原子吸光法)	Al、As、Ba、Bi、Ca、Cd、Co、Cr、Fe、Pb、Mg、Mn、Hg、Ni、K Se、Ag、Na、Sn、V、Zn
土壌	有機物分析 (ガスロマトグラフ)	残留農薬、有機塩素化合物、有機リン
	基本基質	N、K、Na、P、Zn、Fe、Mn
	微量分析 (7元素原子吸光法)	水質に同じ
	その他	pH、有機物量

分析方法はStandard Methodにおおむね準じている。  
 大気で細菌は疑問の向きもあるが、落下細菌あるいはクーリングタワー等の調査と思われる。  
 分析室は、一般分析、機器分析および前処理室に区分されている。

- 2) (財) 国際環境技術移転研究センター：平成9年度 環境事業団委託調査、海外環境情報調査業務報告書, pp.21-23(1998).
- 3) Environment Management Bureau : Philippine Environmental Quality Report (1997).
- 4) (財) 国際環境技術移転研究センター：フィリピンラグナ湖を対象としたエコフェニックス研修カントリーレポート (1998).
- 5) National Statistical Coordination Board : Philippines Yearly statistical Book, pp.4-31(1997).
- 6) ホ - ムペ - ジ, <http://www.biwa.or.jp>参照
- 7) Jocelyn F.Siapno(LLDA) : 私信
- 8) 渡辺仁治、加藤進、浅井一見：第19回日本珪藻学会講演予稿集 (四日市大学)、講演番号18(1998).
- 9) Thailand Environmental Institute: Development of Economic Tools in Industrial Environmental Management(1997).
- 10) Erlinda A.Gonzales(EMB):私信
- 11) Environment Management Bureau: Air Quality Monitoring Manual (1994).

## Current Status of Water Quality in Philippines

Susumu KATO

The Environmental White Paper, domestic survey for Laguna de Bay and Environmental User's Fee which is one of the Philippines' environmental strategy were reviewed. The water quality of Pasig River which flows into Manila Bay, has worsened recently. Moreover, the water quality of Laguna de Bay, such as COD and nutrients has deteriorated compared with the 1970-1980s.

However, there is a time lag correlation between rain precipitation and surface Cl<sup>-</sup> concentration in the bay. This fact suggests that the water- holding function of Laguna de Bay basin is working well. The Environmental User's Fee is very important to Department of Environment and Natural Resources (DENR) as a source of environment-related tax-income, the effective utilization of this tax revenue is a matter for future discussion in Philippines.