

7 国産技術の移転と適正評価

富栄養化対策技術として、我国の先進的技術の下により、省エネ、省コスト、省維持管理を目的とした技術移転の効率性を踏まえ、対策技術、モニタリング技術等の移転を実施してきている。本章ではこれらの事例を述べるとともに技術移転された水質浄化装置やモニタリング装置等の国産技術の途上国での適用可能性等についても言及する。

7-1 中国紅楓湖・百花湖修復プロジェクト（環境省）

7-1-1 プロジェクトの目的

開発途上国では、人間活動、産業活動の活発化に伴い湖沼での水質汚濁が累進的に加速している。そのなかでも中国においては、富栄養化の進行した数多くの湖において、有毒アオコの異常増殖が顕在化しており、水資源の安全性確保が脅かされている状況にあり、至急の有毒アオコ対策の必要性に迫られている。このため富栄養化抑制対策としての窒素とリンに的を絞った効果的対策技術の導入が必要とされているが、有毒アオコ実態調査とその抑制技術の開発にはほとんど手がつけられていないのが現状である。このような状況を踏まえて環境省は平成 12 年度事業として「中国西部地区貴州省紅楓湖・百花湖をモデル地域とした分散型水質浄化対策国産技術の適用可能性調査」を実施し、紅楓湖・百花湖の水質浄化対策として中国西部地区という地域に適合すると考えられる国産技術の水質浄化装置を導入して、その適用可能性を明らかにすることを目的に調査研究を行うこととした。なお、本プロジェクト研究は、当初、単年度予算であったが、その重要性から平成 13 年度も引き続きフォローアップ調査研究を実施することとなり、継続して現在も調査研究を進めている。また、本プロジェクト研究は、新たに国際的水環境の緊急課題として取り上げられている WHO（世界保健機関）の飲料水質ガイドラインに位置付けられた青酸カリよりも強力な毒性物質を産生する有毒アオコにも着目し、中国貴州省富栄養湖沼の有毒物質ミクロキスチン現存量実態調査を行うとともに、水処理工学としてのバイオエンジニアリング、生態工学としてのエコエンジニアリングを活用し、処理の高度化を目指すこととした。



図7-1-1 中国貴州省紅楓湖・百花湖の地形

7-1-2 プロジェクトの概要

本プロジェクト研究は、日本側として環境省、独立行政法人国立環境研究所、中国側として中国環境科学研究院、貴州省環境科学研究設計院、上海交通大学が参画し国際共同研究を行ったものである。本プロジェクトで導入された水質浄化装置は、中規模浄化槽 2 基、小規模浄化槽 2 基、土壌トレンチ 1 基、曝気揚水筒 1 基で中国西部地区の貴州省の地域性に適合すると考えられる国産装置が選択されている。「天に三日の晴れなし、地に三里の平地なし、民に三分の銀もなし」という言葉があり、貴州

は雨や曇りの日が多く、起伏に富んだ土地柄である。以下に北緯 26 度，東経 106 度，標高 1,000m に位置する紅楓湖・百花湖(図 7-1-1)の諸元およびその流域の排水処理対策等について概要を述べる。

(1) 紅楓湖

紅楓湖(写真 7-1-1)は 1960 年に完成したダム湖で、その規模は流域面積 1,610km²、湖面積 57.2km²、総容量 6.01×10⁸m³、平均容量 3.0×10⁸m³、最大水深約 45m、平均水深 10.5m で北湖と南湖に分けられる。湖面は、観光、船運、養殖漁業等に利用されているが、富栄養化抑制対策のために養殖漁業は段階的に禁止する方向にある。湖水は、省都である貴陽市(人口 260 万)の水源として重要で 4.0×10⁴m³・日⁻¹が取水されている。流域の下水道整備はかなり遅れており、便所は各戸ごとに化糞池(簡易沈殿槽)を設置して沈殿・消化を行い、分離水を開渠や下水管渠を通して近くの小河川に排水している。また、公衆便所や各家庭の糞尿は畑地の肥料として利用されている。観光施設の排水は化糞池により一部処理が行われているが、化糞池の除去率は、BOD で 20%、COD で 15%、SS で 50%程度であり、現状は維持管理の



写真 7-1-1 紅楓湖

不備による機能低下のため、SS 除去しか期待できないものと考えられる。流域の汚濁源としては特定汚染源としての工場排水、生活排水、湖内の養殖漁業、非特定汚染源としての水田、畑地、森林等に分けられる。これまでの調査では、紅楓湖の汚染源は湖周辺に所在する電力・化学等の各種工場排水が主要因となっており、窒素負荷が高い傾向にあることが明らかとなっている。とくに紅楓湖周辺の工場は、工場一つで一つの町が形成されている状況にあり、人口も従業員およびその家族を合わせると 1 万人にもなるが、そこから排出される生活排水についての処理はほとんど行われていないのが現状であり、現在、行政指導のもと対策を検討している段階にある。また、紅楓湖では、観光施設の拡大計画があり、これから建設される観光および保養施設については排水処理施設の設置を義務付けるなどの処置を施している。このように紅楓湖流域ではようやく行政が生活排水対策に立ち上がったところであるといえる。

(2) 百花湖

百花湖は 1966 年に完成したダム湖で、その規模は流域面積 319km²、湖面積 14.5km²、総容量 1.82×10⁸m³、平均容量 1.1×10⁸m³、最大水深約 45m、平均水深 10.8m で、紅楓湖の下流に建設されている。湖面は、観光、船運、養殖漁業等に利用されるとともに貴陽市の水源としても利用され 2.5×10⁴m³・日⁻¹が取水されている。これまでの調査では、百花湖の汚染源は湖周辺に位置する各種工場排水や生活排水が主要なもので、COD 負荷が高い傾向にあることが明らかとなっている。百花湖流域では排水処理はほとんど行われておらず、生活排水は小河川や排水路を経て湖内に流入しているのが実情である(写真 7-1-2)。人口一人当たりの負荷量は、2000 年現在で 100~150 ・日⁻¹・人⁻¹であるが、2005 年には 200 ・日⁻¹・人⁻¹となることを予測して設計基準が設けられている。湖内での養殖漁業については、富栄養化抑制対策のため、1998 年末以降、全面禁止となっている。しかしながら、漁業を生業としている漁民は少なからず存在しているため、保障期間を設けて条件付で養殖漁業を認めている区

域も存在しており、完全に禁止されている訳ではない。湖内へのリン負荷を低減する目的で洗剤の無リン化の法律を制定しているが、無リン洗剤は高価であるため普及していない。これは百花湖流域だけの問題ではなく貴州省全体に当てはまることである。

以上のことから、紅楓湖・百花湖流域において現在取り組んでいる行政の主要な対策としては、生活排水対策、工場排水規制、下水処理場の建設、養殖完全禁止等を挙げることができる。このような状況のなか我が国の国産技術の導入に当

っては、中国貴州省でも大きな問題となっている生活排水対策に焦点を当て、とくに有毒アオコ発生の原因物質である窒素やリンの処理技術を有する水質浄化装置、すなわちバイオエンジニアリングとしての高度処理浄化槽とエコエンジニアリングとしての土壌トレンチを国産技術として活用することとした。また湖内で発生した有毒アオコの増殖抑制対策としては曝気揚水筒を活用することとした。装置の選定に当たっては、省コスト、省エネルギー、容易な維持管理であることはもとより、なによりも貴州省に適合する装置であることに基軸においた。本プロジェクト研究は、これら選定された水質浄化装置が中国西部地区に適用可能かどうかの調査研究を行うだけでなく、継続的に安定した処理効果が得られるかどうかにも着目し、フォローアップ調査を行うこととした。



写真 7-1-2 生活排水が直接流入している百花湖湖岸

7-1-3 プロジェクトの成果

(1) 有毒アオコ現存量

貴陽市の上水源である紅楓湖、百花湖、小関ダムを対象とし、藻類現存量および有毒物質マイクロキスチン現存量の実態調査を2000年10月に行った。調査方法は、有毒アオコを採取する目的で定量プランクトンネット NXX25 を用いて藻類を濃縮したのち、光学顕微鏡により有毒アオコの種類の同定、

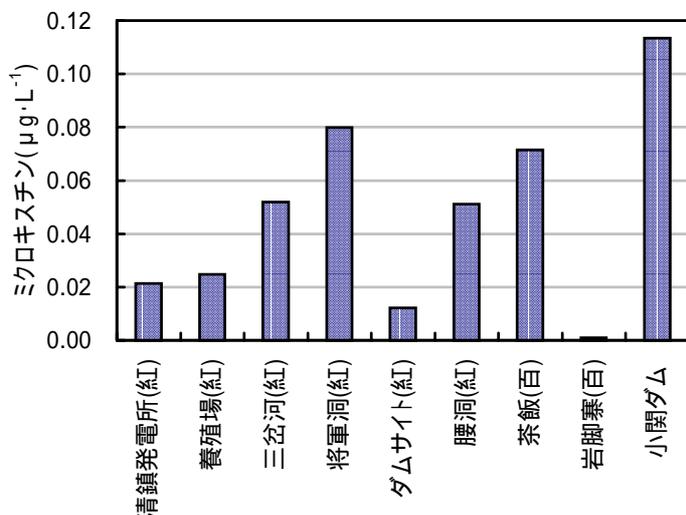


図7-1-2 富栄養湖沼におけるマイクロキスチン現存量

高速液体クロマトグラフィー (HPLC) によりマイクロキスチン現存量を明らかにした。藻類が最も多く出現したのは小関ダム (19,350 個体・⁻¹), 次いで百花湖下流域の茶飯 (4,280 個体・⁻¹), 紅楓湖南湖湖心域將軍洞 (3,940 個体・⁻¹) の順となり、藻類が最も少なかった水域は紅楓湖ダムサイト (320 個体・⁻¹) であった。藻類の分類群別出現割合をみると、小関ダムは藍藻類の *Microcystis* 属が優占的であるのに対し、百花湖では珪藻類の *Fragilaria* 属、紅楓湖では緑藻類の *Pediastrum*

属と藍藻類の *Microcystis* 属が優占化していることが明らかとなった。つぎに、有毒アオコの種類を調査したところ、紅楓湖、百花湖流域で観察された有毒アオコの種名は *Microcystis aeruginosa*、*Microcystis viridis* であることが判明した。これら *Microcystis* 属の現存量は、小関ダムで $18,100$ 群体・ $^{-1}$ 出現しており他の水域に比べて多量に出現していることが明らかとなった。有毒物質ミクロキスチンの分析結果は図 7-1-2 に示すとおりで、ミクロキスチン現存量が最も高かったのは小関ダムで $0.11338 \mu\text{g} \cdot ^{-1}$ 、次いで紅楓湖將軍洞の $0.07988 \mu\text{g} \cdot ^{-1}$ 、百花湖取水口茶飯の $0.07148 \mu\text{g} \cdot ^{-1}$ となった。これらの結果から *Microcystis* 属現存量とミクロキスチン濃度との相関を検討したところ、紅楓湖において相関係数 0.767 、一次式 $y = 0.000043x + 0.021973$ の結果を得ることができた。これより *Microcystis* 属 1 群体 (1 群体中に $500 \sim 1,000$ 細胞) 当たりのミクロキスチン含有量は $0.000043 \mu\text{g}$ となり、ミクロキスチン量が WHO (世界保健機関) の飲料水質ガイドライン $1 \mu\text{g}$ に達するためには *Microcystis* 属が $23,000$ 群体にまで増殖する必要があるものと推定された。ただし今回のデータだけでは標本数が少ないため信頼性を欠いており今後データを蓄積し信頼性を高める必要がある。また、本調査では有毒アオコが少ない時期に調査を行ったことから、次回は有毒アオコ現存量の多い時期の調査が必要と考えられた。ところで、今回の実態調査で得られた成果は極めて貴重で、中国貴州省において有毒アオコ産生のミクロキスチンが検出されたのは本調査が初めてで、これからの湖水資源の保全にかかわる重要な知見が得られた。なお、紅楓湖、百花湖、小関ダムは上水源として利用されていることから、有毒アオコ以外の障害藻類についても調査を行ったところ、カビ臭産生藻類 *Phormidium tenue* が紅楓湖養殖場や小関ダムで出現していることが明らかとなり、異臭味障害の可能性が示唆されることとなった。以上のことから障害藻類である *Microcystis* 属や *Phormidium tenue* が紅楓湖、百花湖、小関ダムで増殖していることが明らかとなり、環境衛生上健全な水域を確保するためにも至急の富栄養化対策の必要性が示唆された。

(2) 高度処理浄化槽

バイオエンジニアリングを活用した高度処理浄化槽を貴州化学肥料工場と貴州省環境科学研究設計院に設置し、国産技術の適用可能性調査を行った。貴州化学肥料工場には中規模浄化槽を 2 基、環境科学研究設計院には小規模浄化槽を 2 基設置し、有機物、窒素、リン除去能を比較検討した。

貴州化学肥料工場

紅楓湖北湖流域に位置する貴州化学肥料工場 (写真 7-1-3) は従業員 $3,000$ 人 (家族を含めると $7,000$ 人) の大規模な工場で、主に尿素肥料を 12 万トン・年 $^{-1}$ 生産している。また、工場からの排水量は $5.5 \times 10^4 \text{m}^3 \cdot \text{日}^{-1}$ で、排水処理設備はあるものの、設備能力と運転管理が不十分で、窒素 ($\text{NH}_3\text{-N}$) と SS において排水の国家第 1 級基準を満たしていない状況にある。現在「貴州化学肥料工場クリーン生産施設建設プロジェクト」が国家レベルで立ち上げられ対策の検討が行われている。一方、従業員集合宿舎から出る生活排水については工場内敷地の化糞池を経て放流しているものの、そのほとんどが未処理の状態にあり、排水処理対策も立てていないのが現状である。このようなこと



写真 7-1-3 中規模浄化槽

から貴州化学肥料工場の生活排水を対象として国産技術の適用可能性調査を行うこととした。貴州化学肥料工場で用いる国産技術としての中規模浄化槽は、回分式脱窒脱リン浄化槽（回分式活性汚泥法）と間欠曝気式脱窒脱リン浄化槽（連続式活性汚泥法）の2方式を採用し、その処理フローは図7-1-3に示すとおりである。また、それぞれの運転工程は次のとおりで、2001年3月より運転を開始している。

回分式脱窒脱リン浄化槽運転工程（1サイクル6時間の運転）

流入工程	好気工程	嫌気工程	好気工程	沈殿工程	放流工程
60分	90分	60分	30分	60分	60分

間欠曝気式脱窒脱リン浄化槽運転工程（1サイクル3時間の運転）

流入工程	好気工程	嫌気工程	沈殿工程	放流工程
連続	120分	60分	連続	連続

浄化槽の処理水量はそれぞれ $20 \text{ m}^3 \cdot \text{日}^{-1}$ である。なお、本中規模浄化槽施設は、配電盤、コントロールパネル等すべて独立して制御しており電圧の安定化対策が講じられている。凝集剤添加槽およびpH調整槽はフルオートメーション化されているが、電気系統についてはリレーの組み合わせである。凝集剤は塩化第二鉄を使用し、流入 T-P を 4ppm と想定して凝集剤濃度を 30ppm に設定した。pHセンサーは6.5以下で苛性ソーダが注入され7.0に中和されるように設定した。DOは過剰な曝気を抑えるためにDO値が4を超えると曝気が停止するように設定した。間欠曝気式では汚泥（循環）率を200%とした。

2001年3月から9月までの流入原水の水質は、T-Nで $15 \sim 40 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、T-Pで $2 \sim 4 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、BODで $30 \sim 70 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 COD_{Cr} で $90 \sim 140 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ であった。この期間の回分式浄化槽の処理水質は、T-Nで $9 \sim 25 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、T-Pで $0.7 \sim 2.1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、BODで $1 \sim 10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 COD_{Cr} で $18 \sim 60 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ となった。また、間欠曝気式浄化槽の処理水質は、T-Nで $6 \sim 17 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、T-Pで $0.5 \sim 1.7 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、BODで $0.4 \sim 6 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 COD_{Cr} で $18 \sim 60 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ となった。これらのことから、各処理方式における T-N、T-P 等の処理性能（平均除去率）は図7-1-4のようにまとめられる。すなわち、BODおよびCODの除去については回分式および間欠曝気式いずれにおいても良好な結果であったが、T-Nについては間欠曝気式で59%、回分式で45%と約1/2の除去率であった。処理性能が悪かったのはT-Pで、間欠曝気式で47%、回分式で17%の除去率となった。窒素・リンの除去率

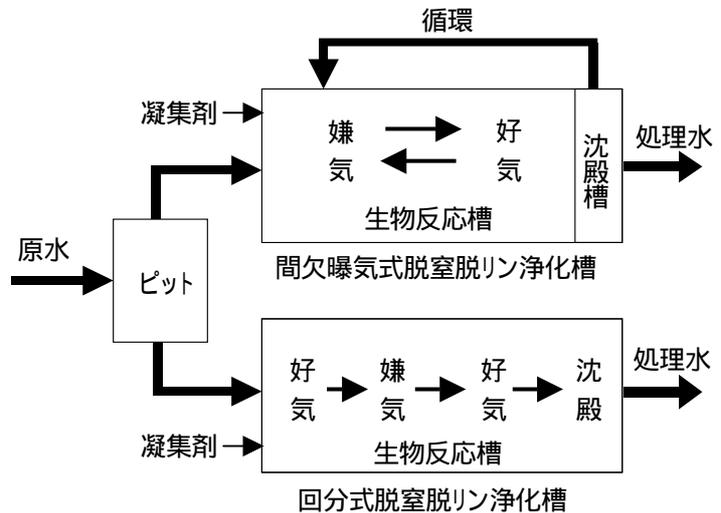


図7-1-3 貴州化学肥料工場の中規模浄化槽処理フロー

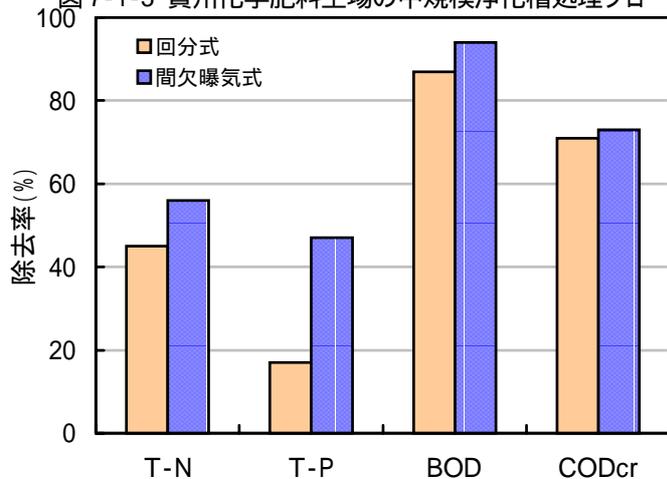


図7-1-4 中規模浄化槽の処理性能の比較

が低いのは、運転・維持管理上の問題が大きく、窒素ではDO管理の不備、リンでは薬注ポンプの目詰まり等により凝集剤が設定どおり添加されていないことなどが原因と考えられた。以上より、貴州化学肥料工場に設置した中規模浄化槽は、有機物については十分な処理効果を得ることができたが、窒素・リンについては運転管理のさらなる容易化が課題として挙げられた。

貴州省環境科学研究設計院

小規模浄化槽（写真 7-1-4）は貴州省環境科学研究設計院の集合住宅から出る生活排水を処理対象として設置されたもので、その処理方式は嫌気好気循環式処理を採用している（図 7-1-5）。処理水量は $2\text{m}^3 \cdot \text{日}^{-1}$ 、返送（循環）率は 200%とした。本装置は、本来、タイマー制御によりの生活パターンにあわせて稼働させる予定であったが、平成 13 年 9 月現在 担当者が手動でスイッチの on/off 操作を行っている。浄化槽の稼働時間は 8:00~12:00 の 4 時間、14:00~18:00 の 4 時間、合計 8 時間・日⁻¹とした。現在のところ同一条件で 2 系統稼働させているが、今後は負荷量を変えるなどして最適運転条件を見出すための比較実験を行う予定である。

2001 年 3 月から 9 月までの流入原水の水質は、T-N で $80 \sim 100 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、T-P で $8 \sim 11 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、BOD で $50 \sim 120 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 COD_{Cr} で $100 \sim 250 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ であった。この期間の小規模浄化槽（No.1）の処理水質は、T-N で $42 \sim 100 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、T-P で $5 \sim 11 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、BOD で $3 \sim 15 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 COD_{Cr} で $45 \sim 100 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ となった。No.2 の処理状況も概ね同じであった。小規模浄化槽における T-N、T-P 等の処理性能（平均除去率）は図 7-1-6 に示すとおりである。これより、BOD の除去は良好であるが、T-N と T-P については除去率が低いという傾向が示された。とくに T-N の除去率が低いのは、流入原水中のアンモニア性窒素の高濃度（ $70 \sim 90 \text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ）が原因で、これは集合住宅から排出される生活排水が原水ピット前にある腐敗槽で前処理され、有機物が分解除去され脱窒



写真 7-1-4 小規模浄化槽の調査風景

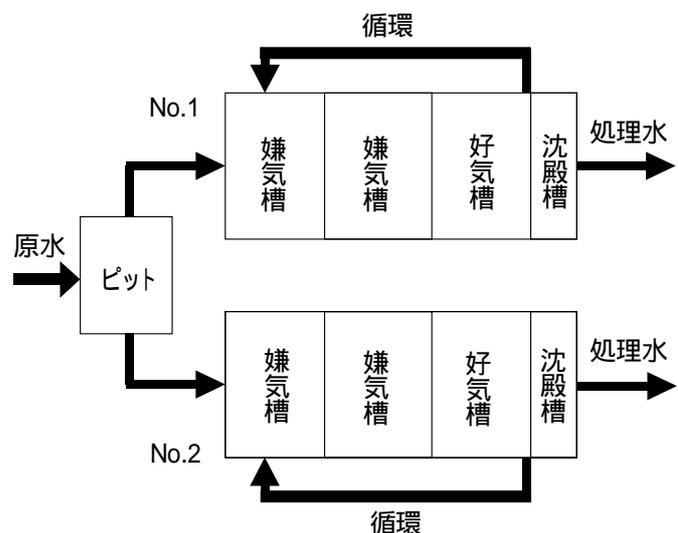


図 7-1-5 環境科学研究設計院の小規模浄化槽処理フロー

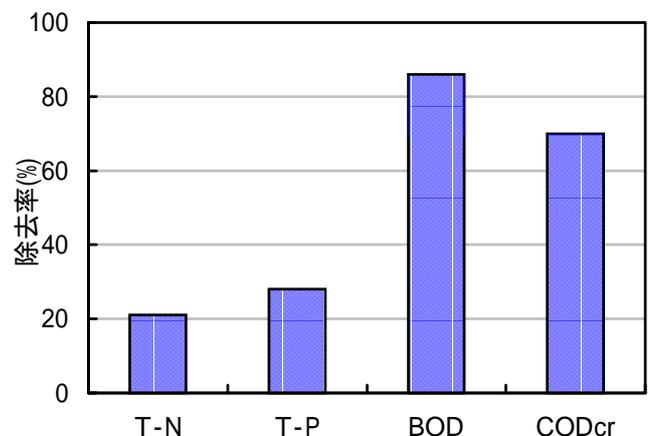


図 7-1-6 小規模浄化槽の処理性能

に重要な BOD/N 比のバランスが適正でないことに由来するものと考えられた。

(3) 土壌トレンチ

紅楓湖北湖湖岸に位置する水上運動訓練基地は、水上競技のオリンピックレベルの選手を育成する施設で、80 人程度が生活している。現在、新棟を建設中で、これが完成すれば約 300 人が収容可能となる。排水処理に関しては、垂れ流しの状態にあるが、現在、排水処理施設の設置を検討中である。この水上運動訓練基地に設置する国産技術はエコエンジニアリングを活用した土壌トレンチ（写真 7-1-5）で、嫌気ろ床を組み込んだ土壌浄化法である（図 7-1-7）。本装置は自然流下型の処理方式を用い、さらに曝気装置や薬注装置を使用しないシステムであるため、維持管理が極めて容易である。土壌は、団粒構造を有するトウモロコシ畑の表土を搬入・敷設し、微生物の活性を高めることとした。処理水量は $3 \text{ m}^3 \cdot \text{日}^{-1}$ とした。

2001 年 3 月から 9 月までの流入原水の水質は、T-N で $7 \sim 33 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、T-P で $0.7 \sim 2.2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、BOD で $30 \sim 70 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 COD_{Cr} で $55 \sim 90 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ であった。この期間の土壌トレンチの処理水質は、T-N で $1.8 \sim 7 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、T-P で $0.08 \sim 0.2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、BOD で $1.5 \sim 10 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 COD_{Cr} で $18 \sim 33 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ となった。土壌トレンチにおける T-N、T-P 等の処理性能（平均除去率）は図 7-1-8 に示すとおりである。これより、4 項目全てにおいて除去率が 70% を超えており、処理が極めて良好であることが明らかとなった。なかでも T-N と T-P の除去については今回国産技術として用いた装置のうちで最も性能が高いことが明らかとなった。とくに T-P の除去は良好で、処理水で $0.1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 以下の値を示すこともあった。嫌気ろ床を組み込んだ本土壌トレンチは、維持管理が容易なうえ、建設コストも安く、さらにランニングコストも低く抑えることができるので、開発途上国においては有効な窒素・リン除去装置と位置づけることができ、発生源対策として十分な機能を発揮するものと推察された。

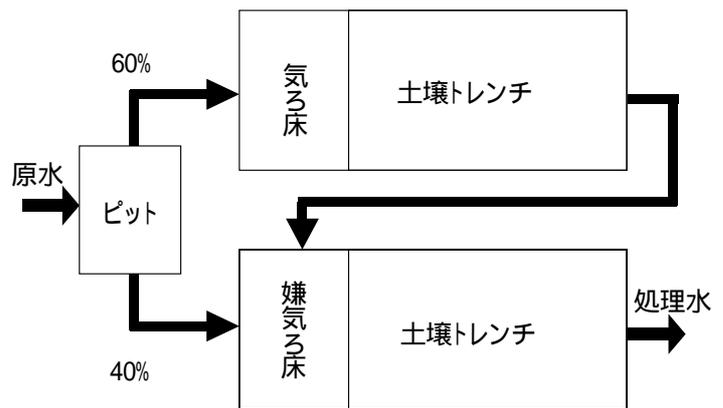


図 7-1-7 水上運動訓練基地の土壌トレンチ処理フロー

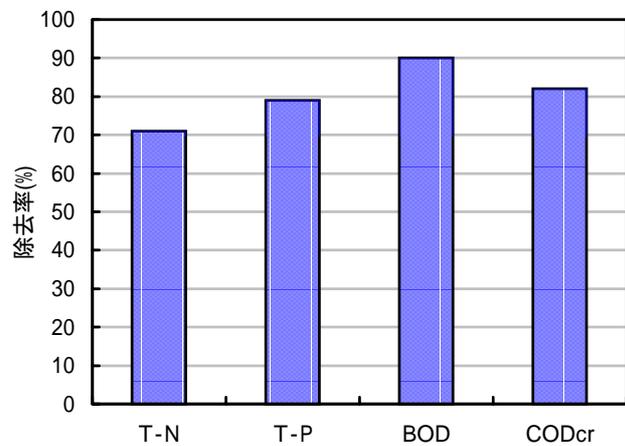


図 7-1-8 土壌トレンチの処理性能



(4) 曝気揚水筒

有毒アオコなどの障害藻類の増殖抑制を目的に、国産技術として曝気揚水筒を用いることとした。曝気揚水筒は、有光層で光合成により増殖する藻類を増殖できない無光層へ移送させるために、表層部と深層部のあいだで水の対流を行わせ、水域全体に循環流を生じさせるように設計された装置であるとともに、深層部には酸素が供給されるので、鉄、マンガン、リン等の溶出を抑えることができ、マンガンの黒水対策、富栄養化対策の一つとしてのリン溶出防止などにも効果を発揮する。このよう

なことから、藻類の増殖を抑制する装置である空気揚水筒を設置するにあたり、より効果を発揮できる水域の選定を行ったところ、小関ダムが最も相応しい水域であった。すなわち、小関ダムは貴陽市の用水源である、上水において黒水が発生していることからマンガン対策として有効である、本プロジェクトの藻類現存量実態調査結果より藻類量および有毒物質ミクロキスチン現存量が最も多いことなどをその理由として挙げることができる。小関ダムは流域面積 16.3km²、総容量 2.26 × 10⁶m³、最大水深約 14m の人造湖で 1959 年に完成しており、上水源としての取水量が 2,500 m³・日⁻¹である。図 7-1-9 は 2001 年 3 月に曝気揚水筒設置前の最深部の成層を調査したものである。これより水温躍層が 1.5 ~ 2.0m のところで形成されており、表層部と深層部との間で対流が行われていないことが明らかとなった。

また、藻類現存量は表層部で 2,200 個体・m⁻¹、中層部 (2.5m) で 600 個体・m⁻¹、深層部 (5.5m) で 250 個体・m⁻¹ となり、表層部で藻類の増殖が良好であることが確認された。なお、3月の最大水深は 5.5m で貯水量は最低のレベルにあった。曝気揚水筒の運転は 2001 年 6 月からで、ダムの貯水量が十分に貯えられた時点で開始した。図 7-1-10 は 2001 年 9 月の調査データで、曝気揚水筒運転後では水温躍層が破壊されて水の循環が起こり、深層部にも酸素が供給されていることが明らかとなった。なお、曝気揚水筒の 4 時間間欠運転では水温躍層の破壊は認められたものの深層部には酸素は行き届いていなかったことから、12 時間間欠運転を行うことで深層部に酸素を供給することができた。有毒アオコ現存量は、2000 年 10 月では 17,000 個体・⁻¹ 出現していたが、2001 年 9 月では有毒アオコ増殖期であるにもかかわらず 2,200 個体・⁻¹ と著しく減少していた。また、ダム管理人からも藻類の発生が今年は非常に少ないとの話があった。以上のことから、国産技術としての曝気揚水筒は水温躍層の破壊、深層部への酸素の供給、藻類増殖抑制についてその効果を発揮しているものと推察された。

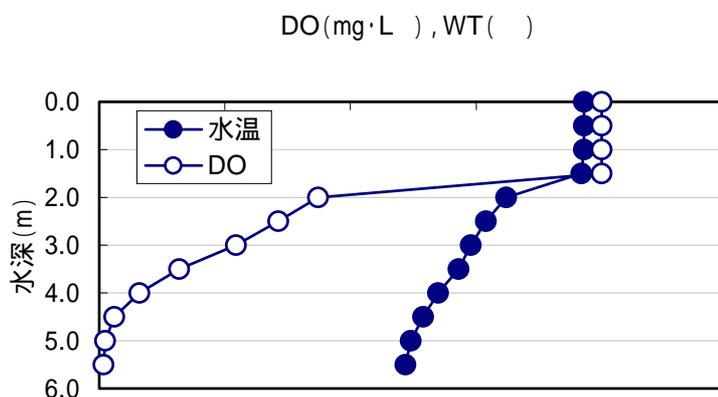
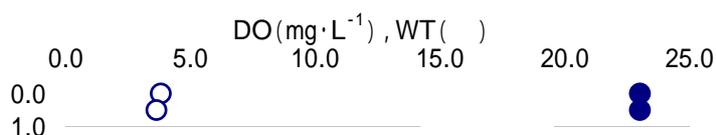


図7-1-9 曝気揚水筒運転前の小関ダムの成層



(5) 国産技術の評価

紅楓湖・百花湖の富栄養化対策として、中国西部地区という地域に適合すると考えられる国産技術を導入してその適用可能性調査を行った訳であるが、高度処理浄化槽、土壌トレンチ、曝気揚水筒の適正評価は以下のようにまとめられる。

バイオエンジニアリングとしての水処理工学を活用した高度合併処理浄化槽の適用可能性については、まず現状の国産技術の中規模および小規模浄化槽では、BOD や COD などの有機物の除去については適用可能と考えられたが、窒素・リンの除去については処理水質にバラツキがみられ、運転・維持管理能力のレベルアップが指摘された。技術レベルでの対策としては装置の簡素化、メンテナンスフリー化が今後の課題として挙げられた。なお、本プロジェクトでは現地担当者を日本で技術研修させることとなり、技術習得の成果が今後の水質改善効果として表れてくるものと期待されている。

エコエンジニアリングとしての土壌浄化法を活用した土壌トレンチの適用可能性については、BOD や COD などの有機物の除去のみならず、窒素・リンの除去も極めて良好なうえ、運転・維持管理が容易で、さらに建設コストが安いことなどから、建設敷地に余裕があり、水量負荷が高くないところでは有効な水処理技術の一つとして適用可能と考えられた。なお、本プロジェクトで土壌トレンチを設置した水上運動訓練基地では、その処理効果の有効性と建設コストの安さから、中国政府が中心となり処理水量 $30 \text{ m}^3 \cdot \text{日}^{-1}$ の土壌トレンチ本施設を建設するに至っている（図 7-1-6）。



写真 7-1-6 中国政府が建設した土壌トレンチ本施設

有毒アオコの増殖抑制を目的としてダム湖に設置した曝気揚水筒の適用可能性は、湖水の循環、藻類の減少、深層部の好気化の点においてその有効性が示唆され適用可能と考えられた。本装置は、富栄養化した湖沼、ダム湖、内海、内湾等の水質保全や水質改善を目的としての活用が可能であるが、浅い湖での水質改善効果、大きい湖での対費用効果、表層部の低水温化に伴う藻類群集構造への影響などをふまえたうえでの活用が望まれる。

以上のことをまとめると、中国西部地区貴州省において、国産技術で直ちに有効な処理効果が得られる装置としては、土壌トレンチと曝気揚水筒を挙げることができた。高度処理浄化槽は設計仕様通りに運転・維持管理を行えば良好な処理水質を得ることができるが、装置の高度化が運転・維持管理の弊害となっており、その対処が今後の課題となる。地球規模の水環境修復を考えるうえでは、さらなる国際協力のもとでの技術開発および現地の人材育成が重要になるものと推察された。

7 - 1 - 4 期待される波及効果

本プロジェクト研究は、国家的・社会的ニーズをふまえた科学技術政策課題であり、地球規模の各国に共通する有毒アオコ、富栄養化湖沼環境問題に対し日本主導で総合的水環境生態系修復技術を構築推進するものである。本プロジェクト研究を強化し推進することで、開発途上国の湖沼水源流域の地域完結型バイオ・エコ浄化システムが確立でき、地域に適合した技術開発により、環境への負荷の

少ない持続可能な循環・共生型エコシステムの創造が構築可能になるものと考えられる。

<参考文献>

- 1) 孔海南：中国における水環境の現状と日本での開発研究および日本に対する期待，月刊下水道，16(3)，76～82(1993)
- 2) 稲森悠平，孔海南，水落元之：アジア・太平洋地域における水環境修復技術と国際協力，日本水処理生物学会，33(1)，1～13(1997)
- 3) 稲森悠平：アジア・太平洋地域の開発途上国における水環境修復技術のあり方，クリーンエネルギー，7(2)，57～64(1998)
- 4) 稲森悠平：バイオ・エコシステムを導入した中国貴州省紅楓湖，百花湖流域における富栄養化抑制技術の開発に関する研究，文部科学省二国間国際共同研究(平成12年度)

(日本環境クリエイト株式会社：大内山高広)

7-2 韓国水質改善システム開発プロジェクト(JICA)

7-2-1 プロジェクトの目的

大韓民国の経済は，1960年代初めの軽工業を中心とする経済開発の着手期，1970年代の重化学工業への移行期と，何度かの軌道修正を行いながら工業化を機軸に高度成長を遂げてきた。しかし，これらの経済発展は都市への人口集中をもたらし，また工業化もあって大気汚染，水質汚濁，廃棄物等の深刻な環境問題が発生し，大きな社会問題になってきた。

社会経済発展状況を背景として，韓国では汚染源および下水量が急増し，都市の下水道普及が下水量の伸びに追いつかず，人口の集中した都市域の河川水質の悪化のみならず，これら都市域の水道水源となるべきダム湖等の閉鎖性水域での富栄養化の急激な進行による多くの問題が深刻化してきた。

大都市の下水処理および下水管渠整備は国家計画によって毎年普及してきていたものの，それに要する予算は膨大であるため，下水道整備による水質の早急な改善は極めて困難な状況にあった。

水道水源域のような郊外地域を対象とした分散型排水処理システムの導入についての検討は極めて不十分な状況にあり，富栄養化防止のための窒素，リン対策に関しては特に厳しい状況にあった。このため，深刻化する河川等の汚染状態を正確に分析，評価および予測して，適正な水質管理政策を樹立するシステムが必要とされ，汚染源分布，規模，種類等地域特性に適合した汚染物質の削減技術の開発と，自浄能力を利用して河川に直接適用できる浄化技術，しかも維持管理が容易で経済的技術の開発が早急に必要であると判断された。

慶安川流域の下流に位置する八堂ダムはソウル首都圏1,500万住民の上水源であり，その水質に直接的な影響をおよぼす水質浄化システムの開発は極めて重要であり，大韓民国環境部では慶安川の水質浄化を図るために上流の龍仁地域を環境保全モデル地域に選定し，様々な環境保全対策事業を実施してきており，日本との共同研究の実施による当該事業の更なる効率化を目指すことの必要性を認識するに至った。

韓国国立環境研究院は1985年に締結された日韓科学技術協力協定に基づき，1988年3月日本の国立環境研究所と環境保全技術開発のため研究協力協定を締結し，さらに1989年11月には同院長とJICAとの間で「漢江流域における環境管理」に関するミニッツが締結され，3年間の研究協力が実施された。研究の成果として，水系別の河川・湖沼水質管理システムと地域特性に適合した汚染物質浄化システムの開発が早急に必要であることが判明した。特に，汚染物質浄化システムでは，水質汚染要因が急増しているに

もかわらず、プロジェクト開始時点で韓国で一般的に普及していた浄化槽はいわゆる腐敗槽(Septic Tank)であり、BOD除去率が50%と低いことのみならず窒素、リン対策については全く考慮されていなかったことから、この分野での協力が強く求められた。

JICAミニプロジェクトの成果の経緯を踏まえ、1992年11月、韓国政府からプロジェクト方式技術協力が要請されたのを受けて国際協力事業団は事前調査団および長期調査員を派遣して要請内容や協力の妥当性を調査した。

その結果、近年、日本で開発され普及しているBODのみならず窒素、リンの除去も可能な高度合併処理浄化槽等の分散型排水処理技術と、接触材充填水路浄化法等の河川に直接適用できる浄化技術の移転は、韓国の水質保全に大きく寄与すると判断された。

事前調査結果を踏まえて実施協議調査団が派遣され、1993年8月27日に討議議事録(Record of Discussion : R/D)署名が交わされ、同年9月1日から5年間の協力を開始し、1998年3月の終了時評価団に対する韓国側の強い要請を受け、協力期間を1年間延長したプロジェクトの実施(1999年8月31日に終了)がなされた。なお、本プロジェクト技術協力は宮沢喜一総理大臣(当時)および盧泰愚大統領(当時)の環境協力の合意に基づき提案された13案件の内の1案件のみが開始されることとなった経緯があることは留意する必要がある。

本プロジェクトにおける水環境改善技術協力の目的は、水環境改善および河川・湖沼水質管理システムの分野において、韓国国立環境研究院に日本の関連技術を移転し、これを韓国の国情に適した技術として開発を行い、かつ研究を促進することにより、地域に適合した水質改善システムを開発し、ひいては韓国の水環境改善に資することにある。

7-2-2 プロジェクトの概要

本プロジェクト技術協力では以下の分野を対象として実施した。

(1) 水質改善技術分野

- 分散型生活排水高度処理技術
- 畜産排水高度処理技術および污泥循環利用技術
- 汚濁水路等の高度処理技術

(2) 河川・湖沼水質管理技術

- 環境容量算定技法
- 湖沼富栄養化防止手法の開発

水質改善技術分野においては本プロジェクトの目的が人口の比較的に分散しているソウルの水瓶である八堂湖に代表されるダム湖等の上水源における水質改善に主眼をおいたため、下水道のように排水を管渠で下水処理場まで集めて処理する集中型排水処理システムに対し、排水の発生する場所で速やかに処理を行う分散型排水処理システムに注目して協力を実施した。この理由は表7-2-1に示すとおりである。

表7-2-1に示すような点を鑑み、本プロジェクトでは上記の協力分野においてモデル処理施設を現場に設置し、データの収集・解析、運転操作条件の最適化、経済性の評価等を行い、地域の特性に適合した技術に改善し、処理施設の構造および維持管理に合理的な指針を与えることを目的とした技術開発を行った。

一方、河川・湖沼水質管理技術分野では、ソウル市の水源である八堂ダムを対象とし、環境容量算定

技法に関する研究および湖沼富栄養化による藻類発生予測・制御技術等の開発を行った。

表7-2-1 韓国の国情に適した分散型排水処理システムの着眼点

人口密度の低い地域では経済性の点から有利になること(人口密度の低い地域において下水道は管渠の延長が長くなるため、経済性の点から不利になる)。

汚濁の発生するその場で処理を行うため、浄化された水は速やかに公共の水域へ戻り、水環境の維持に利用されること(下水道では管渠を通して下流に運ばれるため、途中の河川の流量が減少するなどの問題が生じている)。

修景用水や雑用水などに利用する再利用システムが構築されやすい。

この利点を生かすため



分散型処理システムに適用可能な 高度な処理水質、構造のコンパクト性、維持管理の容易性、経済性、省エネルギー性、等の多様な条件を満足する排水処理技術を開発する。

7-2-3 プロジェクトの成果

(1) 水質改善に関わる技術移転

プロジェクト開始当時、韓国の戸別住宅(韓国では単独住宅という)あるいは集合住宅(アパート)などの分散処理で一般的な施設は嫌気処理のみを行う、腐敗槽であり、汚泥の引き抜きが行われないなど維持管理面でも大きな問題が指摘されていた。また、畜産排水処理も腐敗槽あるいはラグーンが主体であり、性能も極めて低かった。このような時期にプロジェクトが開始されたが、特にこの時期に主要河川での水質汚濁事件が相次ぎ、国民の水環境問題への関心が大きくなり、マスコミを含め、腐敗槽等に代わる高度な排水処理施設への大きな関心と期待が持たれることとなった。しかし、当時韓国国内では日本における浄化槽の知見、特に窒素、リンを除去可能な高度合併処理浄化槽についての知見が著しく乏しく、国民の期待に応えられる状況にはなかった。しかし、プロジェクト開始後、特に実規模排水処理施設の設置、運転開始後は供与した処理装置の性能に多くの期待と関心が集まり、カウンターパートとしての韓国国立環境研究院の研究者を中心として供与機材の韓国の国情に適した構造の検討および日本側専門家チームの指導により維持管理に関する技術の習得が加速された。

表7-2-2に本プロジェクトにおける供与機材を示す。戸立住宅を対象とした小規模合併処理浄化槽として、BODおよび窒素除去可能な方式として嫌気・好気循環ろ床方式と嫌気ろ床・生物膜ろ過循環方式で比較検討を行ったが、いずれの方式とも処理水の水質がBOD $20\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 以下、T-N $15\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 以下と装置のスペックに沿った良好な水質が得られた。一方、集合住宅を対象とした小規模合併処理浄化槽では、BOD、窒素およびリンが除去可能な方式として回分式活性汚泥法式と回遊式間欠曝気方式で比較検討した結果、いずれの方式とも処理水の水質がBOD $20\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 以下、T-N $15\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 以下、T-P $1\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 以下と所期の水質目標を達成した。畜産排水処理は豚を対象として原水濃度BOD $4000\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 、T-N $2000\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 、T-P $70\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 程度において処理水質としてBOD、T-N $120\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 以下、T-P $70\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 以下と良好な水質が得られた。堆肥化装置では畜舎から発生する固形分と排水処理過程で発生する余剰汚泥を合わせた堆肥化が可能となり、韓国では有機肥料(コンポスト)が比較的高価で取り引きされていることから、経済的に

表7-2-2 本プロジェクトでの供与機材

	処 理 方 式	除去タイプ			基数	処理水量 M ³ /日
		BOD	N	P		
生活排水	1.小規模(戸別)合併処理浄化槽					
	(1)嫌気・好気循環ろ床方式				4	1~2
	(2)嫌気ろ床・生物膜ろ過循環方式				4	1~2
	2.中規模(集合住宅)合併処理浄化槽					
	(1)回分式活性汚泥法式				1	40
	(2)回遊式間欠曝気方式				1	40
畜産排水	(1)畜産排水回分式活性汚泥法式				1	10
	(2)畜産廃棄物処理用高速菌肥化装置	---	---	---	1	2
汚濁河川	汚濁水路直接浄化施設(河川敷利用)				1	300
その他	(1)ベンチスケール排水処理実験装置					
	(2)液体クロマトグラフィーおよび顕微鏡等の分析装置					

も期待が持たれた。このように、供与機材としての処理装置は所期の性能が十分に発揮されたことから、カウンターパートナーへの技術移転のみならず、一般への啓蒙啓発という意味からも十分にその目的を達したものと考えられた。

供与機材を通しての技術移転を踏まえて、次に日本側専門家チームの協力の下に韓国の国情を考慮した富栄養化抑制型の窒素、リン除去可能な分散型生活排水処理施設、畜産排水処理施設、食堂排水とし尿を合わせて処理する総合処理施設の技術移転が行われた。ここでは長期専門家を中心となり、必要に応じて短期専門家を年度当初の予定にとらわれず柔軟に投入できたことから効果的な技術移転が可能であった。特に食堂排水とし尿を合わせて処理する総合処理施設については我が国においても検討が開始されたところであり、韓国において先行した技術移転がなされた。韓国ではダム湖などの水道水源域における小規模な食堂の排水への対応が重要な課題となっていたが、油分 $500\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 、BOD $1000\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ およびT-N $100\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ といった厳しい流入水質に対してBOD、T-N $20\text{mg} \cdot \text{l}^{-1}$ 以下という極めて良好な処理水質が得られる技術開発がなされた。その他の処理施設においても高い処理性能が得られ、簡易な維持管理性も発揮され、韓国国立環境研究院がモデル方式として普及が図られる方向にあり、技術開発は成功したといえ大きな成果が得られた。

また、韓国では浄化槽は構造基準ではなく、性能基準で実行することとなったが、韓国政府に対して技術基準を提示するという重要な成果が得られた。

(2) 法制度面に関わるソフト技術移転

韓国では従来、集合住宅のような小規模建築物には腐敗槽の設置のみが義務づけられてきたが、水環境問題への世論の高まり、本プロジェクト実施による技術的な実行可能性が確認されたことにより、1997年3月に「汚水・糞尿および畜産排水の処理に関する法律」が改訂され、小規模建築物までに合併処理が義務づけられ、明確な設置基準、放流水水質基準、管理基準等が決められた。また、畜産排水処理についても好気処理を基本とする基準が設定された。このようにプロジェクト技術協力により、行政支援に対する大きな成果が得られた。

(3) 政府表彰

日本側プロジェクトグループの真摯な取り組みが韓国政府に認められ、以下の政府表彰を受けた。

韓国環境保全有功者国務総理表彰 1名

韓国環境保全功労者環境長官表彰 3名

なお、JICAプロジェクトしての長・短専門家等)の投入の概要は下記に示すとおりである。

長期専門家(プロジェクトリーダーを含む) 5名

短期専門家 70名以上

調査団派遣 8回

7 - 2 - 4 期待される波及効果

韓国における本プロジェクトは韓国内の状況と協力内容が極めて有機的に連携したことにより、窒素、リン除去型高度処理浄化槽等のハード技術移転および法改正を含めたソフト技術移転を含めた多くの成果が得られた。また、実規模施設を利用した処理施設の適正運転操作条件・管理手法の確立化、ベンチスケール装置を利用した処理装置の設計諸元の算定のための研究手法、それらに関連した分析手法の修得など、機材供与と技術、研究指導が一体となった高度効率的な協力が産官学のそれぞれの専門とする分野で精力的、かつ積極的な技術移転が成された。その結果、本プロジェクトはJICAのプロジェクト方式技術協力の最も理想とする姿を具現化したものと考えられ、今後、多くの地域での展開が期待される。また、本プロジェクト推進においては地球環境研究総合推進費のEFF研究員の温室効果抑制型水処理、廃棄物処理技術の開発成果も大きく貢献できたことは留意が必要である。

なお、これらの成果が韓国環境保全有功者国務総理表彰、韓国環境保全功労者環境長官表彰という形として評価されたものと考えられる。これらの表彰はそれまで韓国国内を対象に行われていたもので、国外への表彰ははじめてのことであり、極めて画期的なことであった。本プロジェクトは1999年8月に修了したが、2000年度からは本プロジェクトをベースとして、カウンターパートナーであった韓国国立環境研究院と共同して水環境改善に関する研修がアジア地域の国々を対象とし、JICA-KOICA(韓国国際協力事業団)共同研修として開始された。本研修は2001年度に2ヶ年の第一期が修了し、2002年度から日韓のより密接な連携のもとで第二期目が開始されることとなった。

これらをプロジェクトの成果とともに総括すると、今後の21世紀日韓新パートナーシップを21世紀の最も重要な課題の一つである環境分野で築く上での礎になるものと自負するところである。

(国立環境研究所：水落元之)

7-3 中国太湖水環境修復モデルプロジェクト (JICA)

7-3-1 プロジェクトの目的

本モデルプロジェクトの対象である太湖は、その周辺域に位置する上海市、無錫市、蘇州市、湖州市などの大都市の貴重な水源であり、生活用水として年間約 10.5 億 m³ が数百万の住民に供給されている (図 7-3-1)。しかしながら、太湖全域で富栄養化が問題となっており、局所的には深刻な有機物汚染やアオコ問題が発生している。中国政府はこれまでに水域の国家重点環境対策として 3 湖沼 3 河川を指定しているが、そのなかでも太湖は最重要湖沼として位置づけられている。現在、「太湖水汚染防止第 9 次 5 ヵ年計画と 2010 年長期計画」に沿って産業排水や都市排水を中心に汚濁防止対策が進められている。

1997～2000 年には様々な整備を行った結果、太湖流域の主な点汚染源は基本的に管理されている。しかし、分散型的生活系発生源や面源のような汚染源に対しては、技術的・予算的な問題が残されているため、その対策は遅れているのが実情である。環境への負荷を低減化するためには、産業排水や都市排水のみの対策だけでは不十分で、分散型生活系発生源や湖岸地帯の有機物汚染源の対策が重要となり、なかでも富栄養化の原因となる窒素・リンを削減する必要がある。

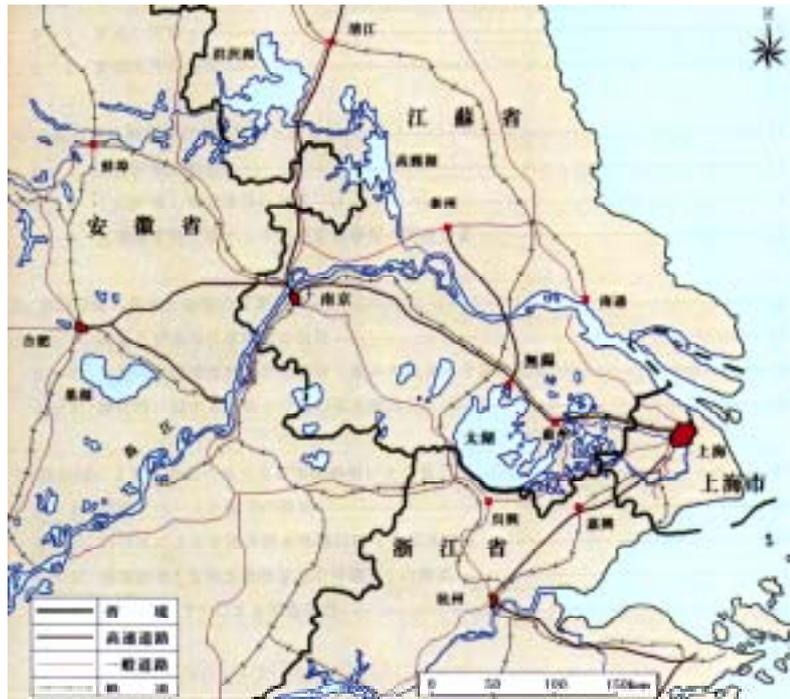


図 7-3-1 中国太湖の周辺地図

これらのことから、本モデルプロジェクトは「太湖流域の分散発生源からの生活系排水処理のために、対象地域の社会・経済状況に適合しかつ普及可能な対策技術が開発され、対象地域の社会に認知される」ことを目標とし、「開発された湖沼水環境修復技術が適用されることにより太湖への窒素、リンの流入負荷が削減される」ことが上位目標として設定されている。これらの目標を達成することで、以下の成果が期待される。

分散型生活系排水のために高度処理浄化槽の実用化技術が開発される。

分散型生活系排水に有効な生態工学浄化技術が開発される。

開発された技術が対象地域の社会に認知されるための条件が満たされる。

なお、このモデルプロジェクトで開発される技術は、中国のみならず開発途上国における水環境修復技術としても大いに期待されるものである。

7-3-2 プロジェクトの概要

本モデルプロジェクトは、国際協力事業団 (JICA) のプロジェクト技術協力により平成 13 年度より 5 年間実行されるもので、日本側として環境省、独立行政法人国立環境研究所、国土交通省、独立行政法人土木研究所、中国側として中国国家環境保護総局、中国環境科学研究院、江蘇省環境保護庁、

無錫市環境保護局および上海交通大学との連携により国際共同研究を進めるものである。この技術開発のモデル地域になるのが、太湖北岸に位置する人口 426 万人の産業・観光都市としての無錫市である。太湖で最も汚濁が進行している水域がこの無錫市の位置する太湖北部水域で、とくに運河や湖岸部では有毒アオコが多量に増殖しており、大きな社会問題となっている（写真 7-3-1~2）。このような水域では、有毒アオコが産生する有毒物質ミクロキスチン濃度が $1,000 \mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$ 以上にもなり、環境衛生上極めて憂慮される状況にある。

これらのことから、本モデルプロジェクト研究は、中国政府が国家環境重点政策に位置づけているアオコ発生湖沼のなかでも最重点湖沼に指定されている太湖を対象とし、その太湖への流入負荷を削減することを目的として掲げている。具体的には、バイオエンジニアリングとエコエンジニアリングを組み合わせたバイオ・エコエンジニアリングによる生活系排水対策の技術開発と、開発した技術の構造・維持管理・性能等の基準創りを行うことにより、環境にやさしい地域社会のシステム構築を目指すものである。

本モデルプロジェクトに用いる技術は、ホテルや団地などから排出される生活系排水を処理する水処理工学としての浄化槽の技術を導入したバイオエンジニアリング、および生活系排水等の排出される汚

濁水域で水生植物や土壌のもつ自然浄化力が最大限発揮できるように工学の力を導入した生態工学、いわゆるエコエンジニアリングの二つの技術を開発し、さらに両技術を太湖流域にいかに適切に配置することにより水質改善の効果が目に見えるようになるかというバイオ・エコエンジニアリングのシステム化の技術開発が重要な位置づけとなっている。



写真 7-3-1 有毒アオコが異常増殖している運河



写真 7-3-2 無錫市湖岸の有毒アオコ

7-3-3 無錫市に設置されるモデル地域のバイオ・エコエンジニアリング施設

本モデルプロジェクトは、日本の技術協力および北京の中国環境科学研究院における基礎研究と、無錫市の実証化研究において得られたデータに基づく解析による浄化構築の構造・性能の基準づくり、南京の江蘇省環境保護局における無錫市の実証化研究の調査に基づく維持管理基準づくり、および最も重要な位置づけにある無錫市環境保護局におけるバイオ・エコエンジニアリングの実証化研究から構成されている。その無錫市のモデル地域の概念図は図7-3-2に示すとおりで、バイオエンジニアリングとしての浄化槽、およびエコエンジニアリングとしての水耕栽培植物による浄化（ピオパーク）、土壌を活用した浄化、水生植物と付着担体に増殖した微生物からなる生物膜の力を活用したコンパクト湿地システム、さらに生活排水が流れ込む小河川の流入する湖岸に新たに石積

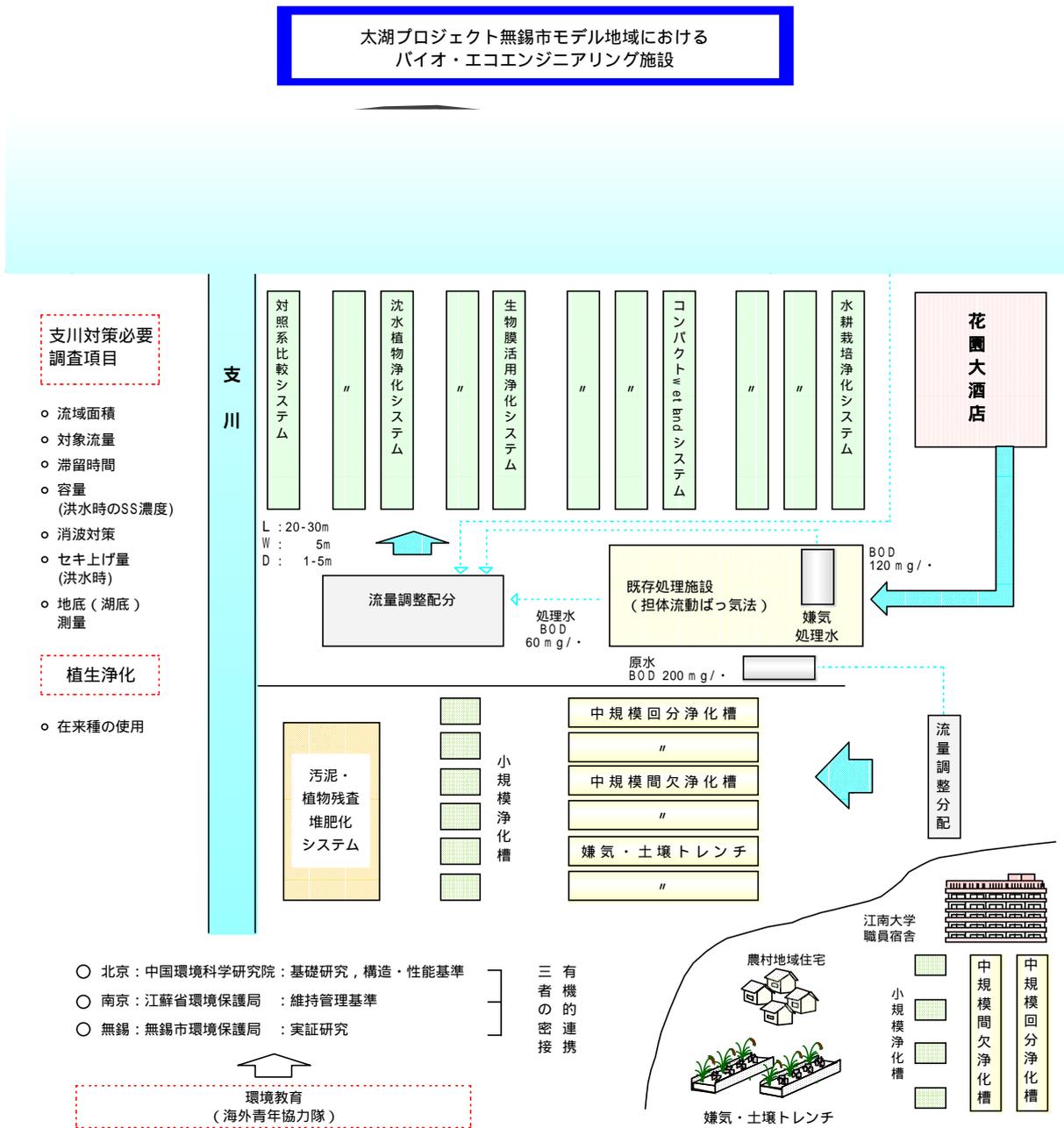


図 7-3-2 無錫市モデル地域のバイオ・エコエンジニアリング施設

み堤防を設置し、その中の底泥を掘削し湖岸植生帯をつくと同時に、浮島浄化法等を導入した支川対策という新たなエコエンジニアリングも組み込んでいる。このモデル地域で開発される技術は、国際的にも適用の大きく期待されるものである。

7 - 3 - 4 プロジェクトの波及効果

北京、南京、無錫市で行われる基礎と応用のハードとソフトの研究により得られるプロジェクトの成果は、国内外で大きく評価されるものと考えられる。一つには湖の富栄養化を抑制する上で効果的な窒素、リンの除去可能な生活系排水対策としての浄化槽の技術開発と同時に、維持管理、構造、性能に係わる基準が構築でき、中国全土の分散した発生源からの生活系排水の効果的負荷削減のための規制を図る上での汎用化が可能となり、大きな貢献が期待できる。一つには水生植物、水耕栽培植物、土壌を活用したエコエンジニアリング、いわゆる省エネ、省コストで環境低負荷・資源循環型の生態工学を活用した湖沼浄化の新たな技法が提案でき、中国全土の湖沼浄化対策のモデルともなるものでその波及効果は大きいと考えられる。また、本プロジェクトの重要な点はバイオエンジニアリングとエコエンジニアリングを独立した形で適用するのではなく、両者の特徴が最大限発揮できるハイブリッドシステム化を図るという新たな考え方であり、このプロジェクトで得られた成果は国際的にも大きな活用がなされるものと期待される。このように、本モデルプロジェクトは21世紀の水環境保全対策を構築する上での核となるものであり、日中双方はもとより開発途上国との有機的連携によりその地域に適合した水改善を可能にするものとして大いに期待されるものである。

<参考文献>

- 1) 孔海南：中国における水環境の現状と日本での開発研究および日本に対する期待，月刊下水道，16(3)，76～82(1993)
- 2) 稲森悠平，孔海南，水落元之：アジア・太平洋地域における水環境修復技術と国際協力，日本水処理生物学会，33(1)，1～13(1997)
- 3) 稲森悠平：中国太湖の窒素，リン等削減抑制型環境改善技術の開発，NEDO(平成10年度)
- 4) 稲森悠平：生態工学導入による有毒アオコ発生湖沼の生態系修復技術の開発，NEDO(平成11年度)
(日本環境クリエイト株式会社：大内山高広)

7 - 4 パラグアイパカライ湖流域水質改善計画プロジェクト

7 - 4 - 1 プロジェクトの目的

南米の内陸部に位置するパラグアイ共和国では、首都アスンシオン市近郊に位置するイパカライ湖の富栄養化が大きな社会問題となっている。パラグアイ共和国の厚生省環境衛生局(SENASA: Servicio Nacional de Saneamiento Ambiental)では、イパカライ湖の水質監視、水質分析、排水規制等を含む水質汚濁対策計画を策定することとなった。本プロジェクトでは、「イパカライ湖の水質監視、水質分析、排水規制等を含むSENASAの水質汚濁対策計画の立案とその実施能力の向上」を目標とした。

7 - 4 - 2 プロジェクトの概要

(1) プロジェクトの実施場所

本プロジェクトの実施対象地区は、パラグアイ共和国の首都アスンシオン市近郊に位置するイパカライ湖流域である。パラグアイ共和国は、図7-4-1に示すとおり南米の内陸部に位置し、周囲をブラ

ジル, アルゼンチン, ボリビアに囲まれている。イパカライ湖は図7-4-2に示すとおり, 首都アスンシオン市の中心部から東約30kmの南緯25.2度, 西経57.2度に位置している。イパカライ湖は湖水表面積5,960万m², 最大水深3m, 平均水深2m, 水面標高64m, 水容積115,00万m³, 湖岸長40kmの湖沼である。湖周囲は, 約65%が牧場などの農耕地, 約19%が自然植生の草原や湿地である。流域にはサンロレンツォ市, ルケ市, カピアタ市, サンベルナルディーノ市などの市街地があり, これらの市街地から生活雑排水の負荷が20の流入河川を通じて湖に入っている。イパカライ湖からはサラド川が唯一の流出河川として存在し, パラグアイ川を経てラプラタ川を經由して南大西洋にそそいでいる。流入汚濁負荷の約48%はこれら都市・生活系である。また, 流域内に位置する80以上の事業場からの産業系負荷が約24%と見積もられ, 屠殺・食肉加工業および皮革製造業が産業系由来の汚濁負荷の多くの割合を占めている。写真7-4-1はイパカライ湖の景観を示したものである。湖水は流域の土壌浸食により流入する土壌粒子により褐色に懸濁しており, 透明度は0.07~0.15mと著しく低く, 懸濁物濃度(SS)が70~80mg・⁻¹と著しく高いことが特徴である。なお, イパカライ湖の水質は, COD_{Cr}:10.3~15.7mg・⁻¹, T-N:0.58~0.89mg・⁻¹, T-P:0.15~0.30mg・⁻¹とDO:6.0~8.9mg・⁻¹, pH:6.0~8.7である。窒素濃度に比較してリン濃度が著しく高く, 窒素・リン比が1.9~5.9と極めて小さいことが特徴である。プロジェクトの技術移転先(カウンターパート)は, パラグアイ共和国の厚生省環境衛生局(SENASA: Servicio Nacional de Saneamiento Ambiental)である。技術協力の開始時点でSENASAの組織は以下に示す大きく3つの本部から構成されていた。

- ・ 環境保護本部(Dirección de Protección Ambiental)
- ・ 水・保健本部(Dirección de Agua y Saneamiento)
- ・ 管理・財務本部(Dirección de Administración y Finanzas)

技術移転を担当した専門家は「環境保護本部」に所属した。環境保護本部の所管事業は, 「工場排水の規制」, 「固形廃棄物対策」, 「有害危険物質の管理」, 「環境監視, 水質検査」である。



図7-4-1 イパカライ湖位置図

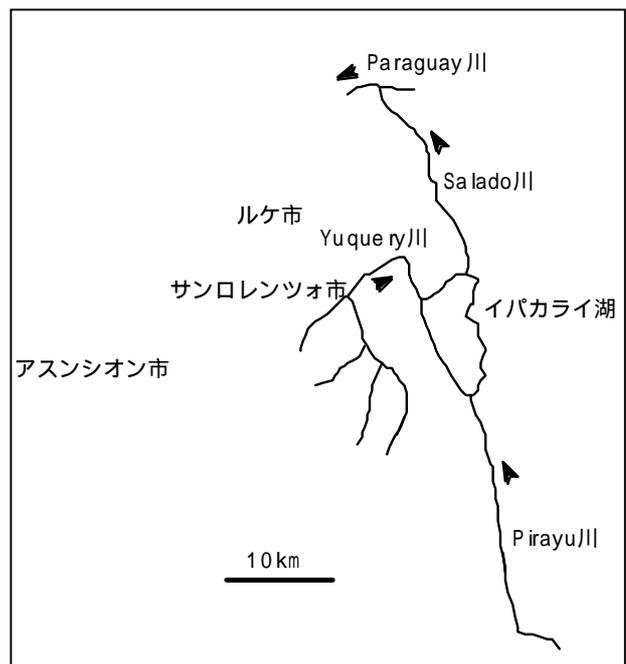


図7-4-2 イパカライ湖流域地図

(2) プロジェクトの背景

内陸国で海を持たないパラグアイ共和国にとって、イパカライ湖は、利水の上からのみならず親水要素としても貴重な水資源のひとつである。イパカライ湖流域の環境は、首都アスンシオン地域の拡大による土地開発、人口増加、産業の発展などにもない悪化の一途をたどってきた。こうした背景のもと、近年ではイパカライ湖の水資源・観光レクリエーション資源としての価値が急速に失われつつあるのが現状である。こうした急速な水環境悪化の問題に対し、日本国際協力事業団



写真 7-4-1 イパカライ湖景観（パラグアイ共和国）

（JICA）は、1988年～1989年に「イパカライ湖流域水質汚濁対策計画調査」と表す開発調査を行った。さらに、1995年～1998年に「水質汚濁対策（主に分析・モニタリング技術指導）」に関する個別派遣専門家を派遣するなどの技術協力を実施した。

このような背景のもと、本プロジェクトは新規項目の分析、行政指導、排水改善、データ解析、環境啓発活動、環境教育などの技術移転の過程を通して、カウンターパートであるパラグアイ共和国の厚生省環境衛生局（SENASA）がイパカライ湖流域の問題点を解析し、現行の「水基準の見直し/改正」および「実現可能な水質改善計画案の策定」を行い、上位目標「イパカライ湖の水質改善」に発展することを目的とした3年間の技術協力実施に至った。ただし、技術協力期間の最終年にあたる2000年7月に環境庁（SEAM：Secretar del Ambiente）が設立され、環境行政に関する法的な権限が環境庁へ委譲された。これにより本プロジェクトの技術移転先である厚生省環境衛生局（SENASA）の行政権限が大幅に縮小する事態となった。

(3) プロジェクトの実施期間

本プロジェクトによる技術協力期間は、1998年6月1日～2001年5月31日の3年間である。

(4) プロジェクトの活動項目

本プロジェクトの開始当初はモニタリングを中心に技術移転した。その後、得られたモニタリング結果をもとに関連機関への提言を含む水質改善計画の策定を行い、さらに水質基準案の検討、排出源への排水改善指導、環境教育などの活動を行う方向へ発展させた。具体的なプロジェクトの活動は以下に示す6項目からなる。

- ・水質汚濁の状況を調査し把握、記録する。
- ・モニタリング計画策定、モニタリング機材管理、新しいモニタリング技術の導入（農業、重金属、微生物など）、モニタリングマニュアルの作成などを行う。
- ・実行可能な水質改善計画を策定する。
- ・水質汚濁防止に係る水質基準のあり方に関する指導、および水質基準の検討を行う。
- ・汚濁負荷源に対する排水改善指導を SENASA 自らの手で行えるようにする。
- ・国民および関係者へ水質汚濁の実態とその改善の必要性に関する啓発活動を行う。

7-4-3 プロジェクトの成果

(1) 汚濁状況に関するモニタリング調査

イパカライ湖流域の汚濁負荷源について、生活系・産業系・自然系別にモニタリング調査し、その過程を通じて汚濁状況の把握方法、汚濁原因の解明方法などの技術を移転することができた。また、モニタリング手法については、計画策定からその計画に基づいた調査の実施、得られたデータの整理、データの解析、報告書の作成に至る一連の必要事項を技術移転することができた。

(2) 汚濁源の解明と改善指導

イパカライ湖流域の中小を含め 80 以上にわたる全事業場、廃棄物の不法投棄場所などの調査を行い、それらの抱える問題点を解明した。また、行政指導、OJT による排水処理技術等の技術移転を行うことにより、工場などの汚濁負荷源に対して適切な行政指導（改善指導）が実施できるようになった。

(3) 調査・分析機器、試薬等の管理

調査・分析機器、試薬等の台帳を作成した。この台帳をいつでもだれでも閲覧できる体制を整え、管理システムを構築できた。本プロジェクト活動を実施するにあたり、機材供与（一部は周辺機材のみの供与）を伴う分析機器等のモニタリング手法の充実化をはかった代表的なもの、およびその活用用途については以下に示すとおりである。

- ・GC-MS（SPME 抽出器・キャピラリーカラム込み）：農薬の検出に活用、SPME 抽出器により一部の農薬の定性分析、スクリーニングが可能となり、農薬による汚染の調査には具体的に入ることができるようになった。抽出技術に関する経験を重ねることにより定量分析についても可能になるものと考えられる。
- ・原子吸光分光光度計（オートサンプラー込み）：底質中の重金属の検出に活用、オートサンプラーの活用により試料数が多い場合の自動測定や繰り返し測定等が効率化された。
- ・油分濃度分析装置：油汚染が懸念される場合に活用、これまでは手分析により行われていたものを機器分析にて可能となり、ラボの時間効率が高まった。
- ・高速液体クロマトグラフ：農薬等の有機化合物の検出に活用。GS-MS と補完しながら活用されており、水中のイオン分析が可能となった。
- ・生物顕微鏡システム（顕微鏡写真撮影装置および生物試料採集用プランクトンネット。サーバーネット込み）：プランクトンなどの水生生物の検出・同定に活用。これまで化学分析のみで対応していた現況調査に生物調査が加わることにより、水環境をより多角的に評価できるようになった。
- ・藻類発生試験装置：プランクトンの発生、増殖等の試験研究が可能となった。今後、AGP 試験なども導入可能になるものと期待される。ただし、専任の担当者および研修による試験研究手法の習得することが必須条件となる。
- ・溶存酸素計：従来から用いられている溶存酸素計のバックアップおよびクロスチェック用として用いられている。pH が同時測定できるようになったため時間効率が高まった。
- ・超音波洗浄機：ラボにおけるガラス機具の洗浄、および難溶解性試薬の調製などに活用されている。
- ・エックマンバージ採泥器：湖沼および河川の底質試料採集用として活用。効率よくかつ、同じ条件での底泥採集が可能となり試料採集における個人差を抑えることが可能となった。
- ・マルチ水質チェッカー：調査現場における試料採集時点の物理的パラメータの測定に活用。同時に複数項目を測定できるようになり調査現場における時間効率が高まった。

- ・廃液処理装置：重クロム酸カリウムなど重金属を含有する排水の定期的な処理に活用。環境問題を扱う調査研究機関において廃液垂れ流しは避けなければならないが、本装置の導入により廃液は処理している旨、公表できるようになった。
- ・クリーンベンチ：大腸菌累の培養試験など無菌操作に活用。火炎滅菌のみでは不十分であったラボでの無菌操作が存分に行えるようになり、細菌試験の作業効率が高まった。
- ・調査用モーターボート：毎月の定期的モニタリング調査において定点への移動に活用。
- ・四輪駆動車：イパカライ湖定期モニタリング調査における試料採集作業、排水監視などのための工場立ち入り業務などに活用。
- ・AV マルチプロジェクタ：環境啓発活動に活用。環境学習のためのプレゼンテーションなどにおいて、これまでのような OHP シート作成に比較して普通紙が利用できるため資料の作成が容易になった。
- ・複写機：書類作成などの日常業務に常時活用。

(4) マニュアルの整備

採水、微生物採集などの資料採取からラボにおける機器を用いた分析測定に関するマニュアルを整備できた。これにより、新任者など経験のない担当者にとっての貴重なガイドラインを構築することができた。

(5) 報告書の作成

モニタリング調査により得られたイパカライ湖流域に関するデータを、毎年報告書にとりまとめるシステムを構築することができた。これまでは、得られた貴重なデータが埋もれがちであったが、体系づけられた手法により報告書としてまとめることにより、過去のデータに遡ってさまざまなデータを有効に活用できるようになった。

(6) 環境啓発活動

水質汚濁状況調査および汚濁負荷源調査などで得られた知見をもとに、事業者、流域管理者、流域住民、教師、市民等を対象にしたセミナーを開催し、イパカライ湖流域の汚濁の現状とその対策についての理解と協力を得た。また、市民および事業者向けの広報資料を作成し、水質汚濁対策の取り組みについての指針を示した。

(7) 水質改善計画の策定、改正水質基準の検討

本プロジェクトにより技術移転された知識や技術、技術移転期間を通じて得られたさまざまな知見をもとに「水質改善計画」が策定された。

7 - 4 - 4 期待される波及効果

(1) 地方公共団体

イパカライ湖流域の 21 市町村で構成された CLYMA (Consejo de Municipalidades de la Cuenca del Lago Ypacarai)、さらにこれに 3 県を加えた CLYGMA (Consejo de Gobernaciones Municipalidades de la Cuenca del Lago Ypacarai) がイパカライ湖流域の水質環境改善を目的として 1999 年に発足した。これらの団体の活動を通じて、イパカライ湖の水質改善が進展するものと期待される。

(2) 地方衛生委員会

パラグアイ共和国では各市町村に衛生委員会 (Juntas de Saneamiento) と呼ばれる団体が設置されている。この団体は法人格を有し、上下水道の設置やその維持管理を担っている。本プロジェクトの技術移転先である SENASA は下水道部門において、衛生委員会所管事業の設計・施工を行っている。衛

生委員会の要請によりイパカライ湖流域外ではあるもののカアクペ(Caacupe)に下水道が整備された。また、イパカライ湖流域内のイタグア(Itagua), カピアタ(Capiata), イパカライ(Ypacarai)などの都市にも下水道設置の構想ができています。これらの構想の実現によりイパカライ湖への未処理流入汚濁負荷が大幅に削減され抜本的な浄化対策につながるものと期待される。

(3) 流域住民

環境啓発活動・環境教育活動の本格始動が実施されれば、流域内に居住する市民のイパカライ湖水質汚濁への感心が高まり、ゴミの不法投棄などの負荷が削減されるものと期待される。しかしながら、市民の環境モラルはいまだ十分に高いレベルに達していないのが現状である。

(4) パラグアイ工業組合

パラグアイ工業組合、パラグアイ共和国商工省およびカトリック大学が共同で、中小企業の生産性向上と環境配慮を目的としたコンサルタント活動を2000年より開始した。こうした活動によりイパカライ湖流域の中小事業場が水質汚濁防止に向けた対応を採択し始めるものと期待される。

<参考文献>

- 1) International Lake Environment Committee (2001) Survey of the State of World Lake
- 2) 国際協力事業団中南米部中南米課(2001)パラグアイ国チーム派遣「イパカライ湖流域水質改善計画」終了報告書

(千葉県立博物館：林紀男)