調査報告

中国における面源負荷対策と日中研究協力

水 落 元 之*・西 村 修**

キーワード：面源負荷，農業セクター，対策手法，中国，日中共同研究

1. はじめに

中国では1979年の経済開放政策開始により水質汚濁問題が顕著となった。最近では工場排水規制や下水道整備によって改善は見られるものの、閉鎖性水域での富栄養化問題の解決が大きな課題となってきた。中国で重点とされる湖沼では農村地域からの窒素，リン流入負荷割合が大きく，その対応が急務となり，技術開発に大きな予算が投じられるようになってきた。本報では，富栄養化の進行が著しい重点湖沼である太湖を現場として行われている技術開発動向を紹介するとともに日中共同研究の今後の課題を整理した。

2. 太湖流域における面源負荷対策研究動向

2.1 農村からの生活排水対策

太湖流域の典型的な農村地域でのケーススタディーによると，野菜を除く水稻，小麦，トウモロコシなどの化学肥料施用率は90%を超えており，野菜についても約60%となっている¹⁾。太湖流域の農村地域では伝統的にし尿あるいは畜産廃棄物などの循環利用で高い生産性を維持してきた²⁾。しかしながら流域の人口増に伴い1960年代からは化学肥料投入による増産が続けられている。また，我が国同様，経済発展に伴う農業形態や生活スタイルの変化により，し尿の循環利用が鈍化し，し尿余りの現象が見られるようになっている。この

ような背景から農村部での生活排水処理の必要性が高まっている。また，太湖水質改善のマスタープランである「太湖水質汚濁防止第十次五カ年計画」でも農村に適した生活排水のあり方を検討するとある³⁾。これらを踏まえて太湖流域では以下の点に留意した技術開発が行われている。

- (1)農村部は小河川および排水路が交錯し，大規模な排水の収集は困難である。
- (2)住宅が20～200戸の範囲で集落を形成する場合が多く，(1)と合わせて小規模な集合処理が求められている。
- (3)降雨時初期に集落から汚濁負荷が高い流出が見られ，対応が必要である。
- (4)処理施設の建設費および運転管理費の制限が厳しい（建設費1,000～1,300人民元／ m^3 ・生活排水，維持管理費0.1～0.3人民元／ m^3 ・生活排水）。
- (5)窒素およびリン除去目標はそれぞれ70%と80%である。

次にこれらの諸条件を考慮して進められている技術開発事例を紹介する。

①滝型散水曝気接触酸化＋人工湿地高度処理システム（写真）

本システムはひも状接触材（リングレース）を用いた接触酸化法である。2～3mの高さから接触材を充填した接触酸化槽を階段状に4～5段配置し，槽出口は多数の小さな穴を穿った散水板となっている。したがって排水は一つの接触酸化槽から次の接触酸化槽へ滝状に流れ込み，この間に酸素が取り込まれる。最終段の接触酸化槽からの処理水は最初の嫌気槽へ戻り，

The non-point source load countermeasure in China and a future subject for the Japan-China cooperative research activity

* (独) 国立環境研究所アジア自然共生研究グループ Motoyuki MIZUOCHI

** 東北大学大学院土木工学専攻 Osamu NISHIMURA

写真 滝型散水曝気接触酸化+人工湿地高度処理システム

窒素除去が行われる。接触酸化槽の後段には主として窒素およびリンの高度処理を目的とした小規模なラグーンおよび人工湿地が設けられており、降雨時初期における集落からの汚濁負荷にも対応する設計となっている。なお、人工湿地には焼き物が盛んな当該地域で大量に発生する焼き物の型枠（石膏製）の破砕物が物理吸着によるリン除去効率化のために充填されている。

②散水ろ床+人工湿地高度処理システム

本システムは散水ろ床法に基づいているが、散水ろ床からの処理水を最初の嫌気槽に戻し、窒素除去を行っている。ろ材には粘土の焼結物（直径1cm程度）および膨張真珠岩の破砕物が用いられている。また、同様の目的でシステム後段には小規模なラグーンおよび人工湿地が設けられている。

紹介したいずれのシステムの考え方も図に示したように嫌気処理、低コストな生物処理および人工湿地などの自然処理の組み合わせであり、降雨

時の農村からの流出負荷は自然処理部分で対応している。したがって、自然処理に係る土地専有面積が大きくなるが、土地利用に余裕のある農村部の特徴を生かしたものと考えられる。ここで、処理性能は COD_{Cr} 、T-N、T-Pおよび NH_4 の除去率としてそれぞれ70%、70%、80%および90%程度となり、また、流入汚水1m³あたりの建設費と運転費は1,000人民元および0.1~0.2人民元程度と試算され、ほぼ前述の条件を満足している。

2.2 汚濁河川対策

農村部からの面源負荷は小河川等により運ばれ太湖に流入する。面源負荷は生活排水のように発生源での対策を取れるものばかりではないため、汚濁河川の直接浄化対策も太湖への負荷軽減のために重要な取り組みとなり、汚濁の激しい河川を対象に直接浄化を目的としたモデル事業を実施している。手法は礫間接触浄化法に類似した方法を用いているが、礫ではなく数cmの採石が利用され、河川内部に採石層を浸せきさせた構造である。

2.3 農耕地流出対策

太湖ではT-N濃度がV類以下となっており、負荷が卓越している農耕地からの削減対策実施が急務である。農耕地、特に水田からの窒素流出の原因を化学肥料の過剰投入と考え、肥料試験による適正施肥量を把握した事例が報告されている⁴⁾。また、このような科学的知見を基にした適正施肥に関する実証検討ばかりでなく水田を主体とした農耕地排水路で植栽浄化手法が検討されている。排水路側面は直径約10cm穴が多数空いたコンクリート板で覆われており、排水は穴を通して排水路へ排出される。そこで、この穴の部分および排水路底部に窒素・リン吸収が大きいとされている黒麦草（*Lolium perenne*）を植栽して、60%程

図 農村地域における生活排水処理施設の考え方

度の窒素・リン除去を狙っている。

2.4 河口および閉鎖性水域修復

中国では人為的汚染によりダメージを受けた水環境を生態系を含めて修復することが大きな課題となっている。特に、流入河川の河口域あるいは湖岸域の修復に力が入れている。太湖では底泥浚渫と段階的な人工的植栽を組み合わせた手法が検討されている。具体的には湖岸帯に多く存在していた水産養殖池を廃止し、集積した底泥を除去する。次にフロート式植栽浄化手法や大規模曝気により対象水域の水質改善等を図る。一定の水質向上を見た時点で本来主として生育していた沈水植物、浮水植物および中水植物等を移植してさらに貝類、魚類も導入する。このようなプロセスを経た水環境・生態修復が推進されている。

3. 面源負荷対策における生態工学的手法の重要性と考え方

現状の中国における生態工学的手法の位置づけはエコトーンの修復手法の側面が強く、我が国で考えられている閉鎖性水域への面源負荷削減手法としての位置づけはあまり強調されていない。しかしながら、主要な湖沼等の閉鎖性水域では富栄養化問題への対応が主要な課題であり、制限因子となる窒素やリンは農村という面源からの流入負荷が大きな割合を占めている。ここで、農村面源負荷のうち、生活排水や畜産排水に対する発生源対策は負荷削減のために効果的ではあるが、中国では施設整備および運転管理に対する住民と行政の金銭負担割合については今後の課題であることなど普及整備に時間を要するものと考えられる。863プロジェクトの関連以外でも太湖への流入小河川対策としての水耕栽培浄化法⁵⁾、雲南省大理の洱海湖でのヨシ原湿地を用いた農村からの面源負荷対策など検討が進められているが⁶⁾、研究的側面が強い。しかしながら多くの地域で農村面源負荷に対して植栽浄化手法等による浄化施設建設が検討されているなど、生態工学的手法の面源負荷削減手法としての期待も大きい。また、前述したように農村部の小規模排水処理施設に対する高度処理手法との位置づけもある。

4. 日中共同研究における今後の課題

4.1 POPs および EDS による汚染状況

中国では5分類された環境基準を基に主要河川では有機物汚染対策、主要湖沼では富栄養化対策を主軸として対応が取られてきている。しかしながら近年、残留性有機汚染物質（POPs）や内分泌攪乱物質（EDC）に対する関心が高まり、実態把握を中心とした報告がなされている。太湖ではYuanら⁷⁾が底泥中の有機塩素残留物の測定を行い、DDT、HCH、アルドリン、ディルドリン、ヘキサクロロベンゼン、ヘプタクロルなどを検出した。また、底泥中のPCBも測定し、主要な同族体はPCB52としている⁸⁾。その他、洞庭湖の底泥に関する広範な調査結果⁹⁾、経済発展による工業化が著しい珠江デルタ地域（「十五」計画では太湖同様に水環境修復重点地域に指定されている）で、大気、土壌、河川水、河川底泥および生息する魚介類に関する既往の測定結果からPOPsの消長を検討した事例¹⁰⁾などが報告されている。いずれもPOPs汚染の深刻さが報告されている。

4.2 面源負荷における POPs および EDS 対策の重要性

中国の農村部では、近年、化学肥料だけではなく、農薬の利用が高まり、国家環境保護「十五」計画にも農薬と化学肥料の環境安全管理を強化し、化学的な汚染を防止するとされている。したがって、農村からの面源負荷についても単に窒素・リン対策だけではなく、農薬等からのPOPs汚染負荷についても検討される必要がある。

また、生態工学的手法は農村面源負荷対策として期待されることから、POPs、EDCに対する除去効率、手法として利用される生物体内への濃縮実態を中心としたシステム内での物質動態などを検討していく必要がある。また、生態工学手法に対するPOPs等の除去機能強化のための研究開発も今後の課題となる。

4.3 日中共同研究のあり方

中国では急速な経済発展に伴い、水質汚濁問題が急激に顕在化した。工場排水や都市下水への集中的な対応からいわゆる「有機汚濁」からは脱しつつあるように見受けられる。しかしながら、湖沼、ダムなどの閉鎖性水域では富栄養化が進行

し、一部では大きな利水障害が生じている。富栄養化対策として流入する窒素およびリンの負荷削減が重要であるが、多くの部分が農村からの面源負荷に起因しており、排出源での効果的な対応が難しい状況となっている。このような状況から中国では生態工学的手法による面源対策が重要な位置づけとして検討が開始されたところであり、今後の事業化に向けて我が国で蓄積された計画・設計概念を基にした協力が考えられる。また、農村地域からの面源負荷削減のためには地域内での炭素、窒素およびリン収支の適正化が重要であり、物質収支に基づいた適正化提案を行うことも重要と考えられる。さらに中国では近年、POPs等の微量化学物質による汚染に対する関心が高いが、POPs等は農村からの面源負荷にも密接に関係することから対策手法のみならず、農村生態系での動態を把握していく必要がある。特に太湖流域のような経済発展の著しい農村部では人口密度が高く、人および家畜の排泄物の汚染が極めて深刻になっている現状から人間および家畜に由来する17 β -estradiol (E2)のようなEDCの動態を把握する必要があるのではないかと考えられる。

これまで中国との研究協力は我が国から中国への一方通行の感が強く、多分に我が国の研究者の思いこみによる一方的な協力も少なからず存在した。しかし、近年の経済発展に相まって環境への問題意識が高まるとともに環境研究に多くの投資がなされるようになった。我が国と中国は1972年の日中国交正常化以降、特に80年代から研究交流が非常に活発となり、研究者ネットワークは成熟しつつあるように感じられる。また、環境問題として共通する部分も多い。したがって、今後は互

いの知識あるいは技術を共有できるような協力関係の構築が急がれるべきと考えられる。

謝辞：本報告をまとめるにあたって、太湖のほとり無錫市に現地事務所を構えるJICA太湖水環境修復モデルプロジェクトのスタッフの皆さんに大変お世話になりました。謹んで感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 宝川靖和, 高超, 朱建国, 朱継業, 八木一行: 中国太湖地域の農業集水域からの地表水による窒素の流出, 国際農林水産業研究成果情報, **11**, 19-20 (2004)
- 2) Ellis, E. C., Wang, S. M.: Sustainable Traditional Agriculture in the Tai Lake Region of China., *Agric Ecosyst Environ*, **61**, 177-193 (1997)
- 3) 小川雄比古: 中国の水環境修復 - 「太湖水質汚濁防止第十次五カ年計画」を中心として -, 用水と廃水, **45**, 1095-1100 (2003)
- 4) Pan, G., Zhang, Y., Li, L., Zhu, Q., Huang X., Wang, J. and Jing, X.: Minimum Application Rates for High-Yielding Rice Production System in the Taihu Lake Region as a Field Measure for Controlling N and P Agricultural Loading, *Huanjing Kexue*, **24**, 96-100 (2003)
- 5) 呂錫武, 宋海亮, 李先寧: 植物濾床技術浄化河水的効果と特性, 中国水環境汚染控制と生態修復技術高級検討会要旨集 **2**, 177-181, 宜昌・中国 (2005)
- 6) JICA 地球環境部, 水コソ: 植生浄化技術に関する中国調査報告書 (2005)
- 7) Yuan, X. Y., Wang, Y., Sun, C., Xu, N. Z. and Chen, J.: Organochlorine Residues of Sediments in Taihu Lake and Its Risk Evaluation, **24**, 121-125 (2003)
- 8) Yuan, X. Y., Wang, Y., Sun, C., Xu, N. Z. and Chen, J.: Characteristics and Environmental Effects of Polychlorinated Biphenyls in Sediments from Taifu Lake, *Changjiang Liuyu Ziyuan Yu Huanjing*, **13**, 272-276 (2004)
- 9) Wang, H., Wu, W., Wang, Z. and Wang, C.: Persistent organic Pollutants (POPs) in Surfaces sediments of Donghu Lake Wuhan, China, *Journal of Environmental Science and Health Part A*, **A37**, 499-507 (2002)
- 10) Fu, J., Mai, B., Sheng, G., Zhang, G., Wang, X., Peng, P., Xiao, X., Ran, R. and Cheng, F.: Persistent organic Pollutants in Environment of the Pearl River Delta, China: an Overview, *Chemosphere*, **52**, 1411-1422 (2003)