

第1章

太湖流域における水環境保全事業の展開と課題

水 落 元 之

はじめに

太湖は、中国第3の湖であり、無錫市などの重要な水道水源である。しかしながら、長江デルタ経済圏に内包された中国でもっとも経済発展の著しい地域に位置しており、1980年代後半から著しく汚濁が進行し、富栄養化の進行によるアオコの異常増殖が頻発している。太湖の水環境改善を目的とし、太湖水污染防治「九五」計画（1996～2000年、以下、九五計画）、太湖水污染防治「十五」計画（2001～2005年、以下、十五計画）が実施された。つづいて5カ年計画が策定されたが、2007年のアオコ異常増殖により無錫市の上水供給が危機的な状況に陥ったことを受けて、変則的に2008年を開始年度とする「太湖流域水環境総合治理総体方案」（以下、総体方案）が策定され、現在、2012年を目標年次として実施されている。

ここまでの九五計画から十五計画、総体方案までの内容をみていくと、九五計画から十五計画の10年間で太湖の水環境改善に必要な事業要素を明らかにし、工業排水対策のように手法の確立している事業について重点をおき、そのほかの事業についてはモデル事業を進めながら知見の蓄積を図ったと考えられる（水落 [2010b]）。総体方案にはこのような経験を受けて、単に直接的な負荷削減事業だけでなく、負荷削減を促す産業構造調整や排出権取引による負荷削減のための経済的措置に言及するなど、閉鎖性の強い湖沼の水環

境保全計画として一定の収斂がみられる。

しかしながら、総体方案はマスタープランとして各事業の項目のみが示されており、具体的な内容については示されていない。したがって、本章では総体方案に示された事業概要と特徴を基に、総体方案における「太湖流域水環境重点治理区」の都市のひとつである無錫市の事業実施の根拠となっていると考えられる研究成果（王主編 [2009]）をもとにして、総体方案に示された事業要素の具体的な内容について技術的な側面を中心に概説するとともに、総体方案の改訂に先んじて策定された市の太湖流域水環境保全事業に関する第12次5カ年計画をふまえて、水環境保全事業の課題を検討する。

以下、第1節および第2節では、太湖の水質状況や流域からの汚濁負荷量といった太湖の水環境問題を検討するうえで基本的な情報について、最新の資料により改めて整理しながら、水環境の状況を明らかにする。第3節では、無錫市を事例として、主要な水環境保全事業である、おもに工業排水および都市生活排水を対象とした点源対策⁽¹⁾、農業活動および農村生活にともなって排出される汚濁負荷を対象とした農村面源対策⁽²⁾および生態系修復について具体的内容を整理した。第4節では第3節を受けて、今後の課題が大きいと考えられる事業内容を抽出し、具体的な問題点と課題を示した。最後に第5節では、第1節から第4節をふまえて、無錫市が第12次5カ年計画期間に対応した独自の事業計画に示した事業実施に対する課題をもとに、今後の総体方案の課題と展望についてまとめを行う。

本章では、太湖の水環境保全事業の具体的な検討のために、無錫市の事例を取り上げている。無錫市は太湖の北岸から西岸に位置しており、人口およびGDPの流域全体に占める割合は2005年で10%程度である（水落 [2010b]、王主編 [2009]）。しかしながら太湖水面に対する管理面積の割合は26%と大きく、湖岸線の長さ按比例した行政界の大きさを反映している。また、気象学および地形的な要因から、旧来より無錫市中心市街部の水道水源であった無錫市に面した湖岸には春から秋にかけてアオコが集積しやすく、過去に複数回のアオコ異常増殖により水道水、工業用水などの供給障害を経験して

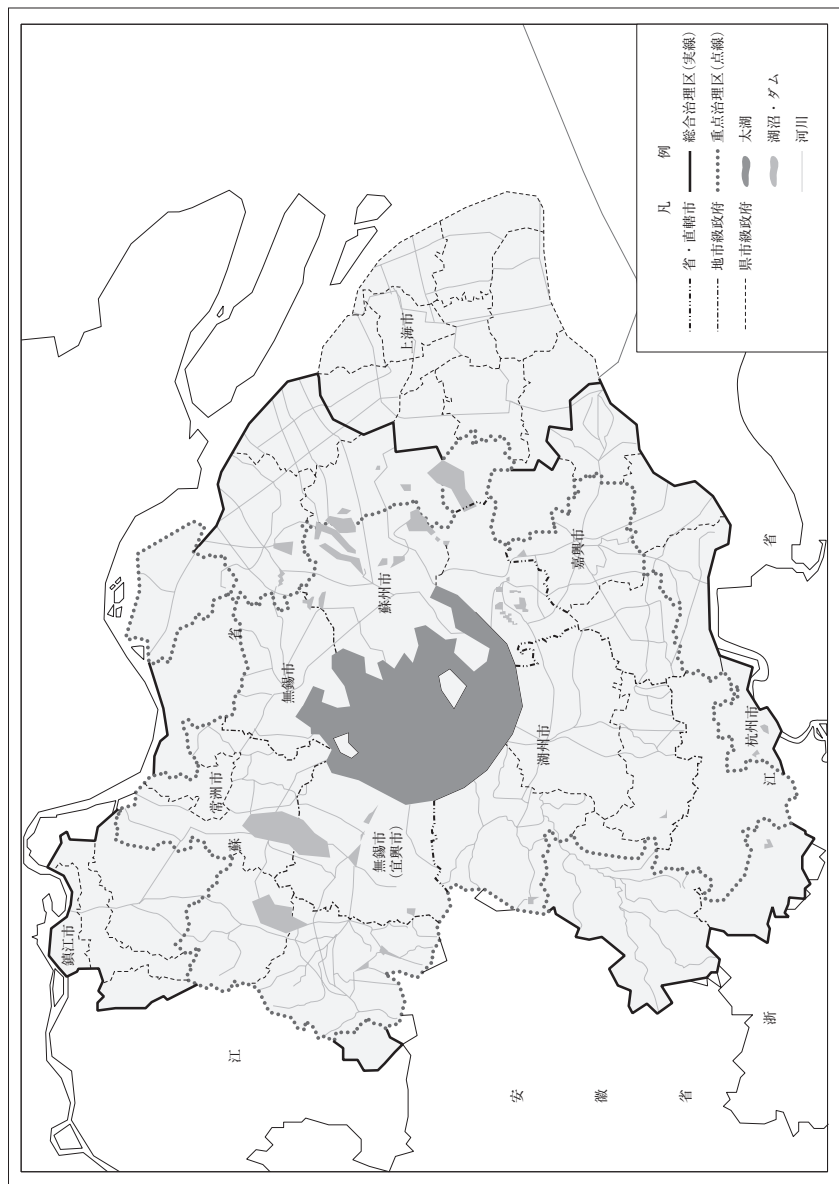
おり、とくに2007年5月から6月にかけて大規模な水道水の供給危機という緊急事態が発生した（水落 [2010b]）。無錫市ではこのような問題を受けて、これまでに太湖からの水道水の取水口を3回も変更しており（王主編 [2009]）、2007年の緊急事態を受けて水道水源の長江への依存度を高めているが、2009年時点でなお40%程度を太湖に依存している（水利部太湖流域管理局 [2010]）。このように、無錫市は太湖の水環境保全に対して、能動的にも受動的にも比較的大きな位置を占めていると考えられる。さらに、総体方案が、2007年のアオコ異常増殖に起因した無錫市の水道水供給危機を受けて、緊急に制定されたことを考えれば、総体方案における無錫市の位置づけは大きいと考えられる。また、無錫市では、水道水供給危機以前から注目すべき水環境保全に関するパイロット事業が行われており、太湖の水環境保全事業に関して一定の経験と情報が蓄積されている。そこで本章では、太湖流域における水環境保全事業の展開と課題を検討するうえでの具体的事例として、無錫市を取り上げた。

第1節 太湖流域の自然・社会状況と総体方案の概況

1. 自然・社会状況

太湖は上海市から西方に100キロメートル程度に位置し、平坦地にできた浅く広大な水たまりを想像させ、成因は違うが日本の霞ヶ浦に類似している。湖の本体は江蘇省と浙江省の省境に位置し、集水域は江蘇省、浙江省、安徽省、および上海市にまたがっている。図1に総体方案に示された「太湖流域水環境綜合治理区」（以下、綜合治理区）を実線で示す。これらの範囲は対策実施を目標とした行政界から決められているが、地理学的な集水域（Qin ed. [2008]）から上海の主要部分を外した範囲であり、境界は流域界に近接した行政界である。したがって、ここで示した綜合治理区に上海市部分を加

図1 太湖流域図（総体方案における保全事業実施区域）



(出所) 水利部太湖流域管理局 [2009]。

えたものが太湖流域の範囲と置き換えてよい。ここで総合治理区の点線の内側は、対策対象区域のなかで汚染源が相対的に集中し、水環境への影響が大きな地域であるために、重点的な対策が必要な「太湖流域水環境重点治理区」と規定されている部分である。

水面面積は2338平方キロメートルで霞ヶ浦の約10倍の広さであるが、流域面積は約30倍の3万6900平方キロメートルと広大である。平均水深は1.9メートルと非常に浅いのが特徴である。また、流域には0.5平方キロメートル以上の湖沼が189カ所存在する水郷地帯でもある。2009年末における総貯水量は50億5000万立方メートルであった。また、年平均降水量は1200ミリメートル程度である。

一方、社会状況では「太湖健康状況報告2009」（水利部太湖流域管理局[2010]）によると、2009年の流域総人口は5176万人と全国の人口の3.8%を占めているが、GDPの流域総額は3兆6364億元と全国の11%を占めている。1人当たりでは7万元と、全国平均の約3倍となり、太湖流域が経済活動の活発な地域であることがわかる。

総体方案によると2005年の流域総人口、GDPの流域総額および1人当たりのGDPは、それぞれ4533万人、2兆1221億元および4万7000元であり、この4年間での増加率（2009年／2005年）はそれぞれ、1.14、1.71および1.49となり、急ピッチでの経済成長がうかがえる。

太湖の重要な利水目的は上水利用である。「太湖健康状況報告2009」によると、太湖には現在、6カ所の浄水場が存在しており、その供給能力は日量365万立方メートルである。2007年にアオコの異常増殖により上水供給が危機的な状況に陥った無錫市では、太湖から取水を行う2カ所の浄水場が日量130万立方メートルの供給力を有している。しかしながら、一方で長江への依存を高めており、2009年における依存度は長江55%、太湖38%、およびダム7%と、長江からの給水が大きくなっている（無錫市発展和改革委員会・無錫市太湖水污染防治弁公室[2011]）。

2. 総体方案の概況

太湖流域では九五計画以来、工業排水および都市生活排水を対象とした点源対策、農地、畜産および水産養殖を対象とした農村面源対策、および生態系修復を保全対策の基本とし、九五計画および十五計画は点源対策に重きをおきながら、総体方案では点源対策から農村面源対策に重点を移しつつあると考えられる。また、第3次産業への産業シフトの促進あるいは農業の集約化、大規模化など産業構造の転換を汚濁負荷削減と組み合わせている点が大きな特徴である（水落 [2010b]）。表1に総体方案で示された水環境保全に係る事業概要を示す。

それぞれの事業を整理すると、負荷削減対策のうち工業では、オンラインモニタリングを通して排出基準遵守を徹底し、それに基づき、操業停止を含めた厳しい対応を行い、さらに状況に応じて上乘せ基準の策定を検討することが挙げられている。都市生活では、下水道整備およびゴミ処理・処分場の整備を加速させ、洗剤の無リン化を徹底させることが挙げられている。農村面源では、循環型社会の構築による都市－農村の物質循環を促進し、作付転換などで化学肥料使用量を削減することが挙げられている。また、畜産の集約化を進め、排水処理の強化を図り、さらにモニタリング体制の強化により削減対策の効果を判定することも打ち出されている。生態系修復は、湖岸帯を復活し、生態公園としての親水機能を強化すること、流入河川の河床底泥しゅんせつの浚渫および導水事業を強化し、生態系修復による浄化能力の強化とあわせて、湖内の環境容量を増大させることなどが挙げられている。これらの対策の効果判定および行政的な管理を強化するために、環境モニタリング網を強化すること、またその他として、代替飲用水源確保を進め、飲用水供給危機の再現を避けることに主眼をおいていることが、おもな内容となっている（水落 [2011]）。

表1 総体方案における各負荷源別の水環境保全計画の概要

負荷量削減 対策	工業	<ul style="list-style-type: none"> ・ 排出基準の遵守を厳格にし、未達成事業所の操業停止、小規模な特定の事業場（製紙、デンプン製造、アルコール製造など）の廃止 ・ 重点監視事業所に対するオンライン測定装置の設置および汚染排出許可制度実施状況の監督と審査の強化 ・ 湖内における動力船の非汚染化および重点船舶（危険品運搬船・客船・観光船）の動態監視 ・ 排出基準の強化
	都市生活	<ul style="list-style-type: none"> ・ 2012年の都市下水道普及率目標80%、鎮の普及率60%および既存の下水処理場に高度処理の義務付けと太湖への直接放流の禁止 ・ 処理場建設に対応した分流式下水管路整備の推進 ・ 有リン洗剤の禁止 ・ 都市下水処理場における汚泥無害化処理の推進 ・ 2012年の都市ゴミ処理率目標75% ・ ゴミ埋立場の管理強化と浸出水浸透防止策の推進 ・ 都市生活における節水の推進
	農業面源	<ul style="list-style-type: none"> ・ 都市と農村のゴミ処理の一体化および農村における資源循環利用の推進 ・ 作付の適正化を図り、施肥管理により化学肥料を削減 ・ 畜産場における排水処理とメタン発酵による資源リサイクルの推進 ・ 水産養殖の制限および環境低負荷型養殖技術の普及 ・ 施肥、農業使用ガイドライン等の制定と指導 ・ 農業面源汚染および湿地観測所の建設 ・ 農業における節水の推進 ・ 農村地域における生活排水対策の強化
湖内および 流入河川対 策	生態系修復	<ul style="list-style-type: none"> ・ 湿地機能回復のための自然保護区、湿地保護エリア、湿地公園および湿地保護区の造成 ・ 湖岸および河岸の改造 ・ 生態林の造成と水域生態環境の修復
	太湖の環境 容量増大	<ul style="list-style-type: none"> ・ 導水事業の推進 ・ 杭州湾への出水能力の強化 ・ 梅梁湾など汚濁の進んでいる水域および主要流入河川の底泥浚渫
その他対策	飲用水の安全 性確保	<ul style="list-style-type: none"> ・ 飲用水源地の保護および代替水源地の確保
	実効性確保	<ul style="list-style-type: none"> ・ 湖水および流入河川の水質モニタリング能力の強化および情報プラットフォームの構築 ・ 技術開発

(出所) 水落 [2011]。

第2節 太湖の水環境の評価

1. 流域における汚濁流入経路

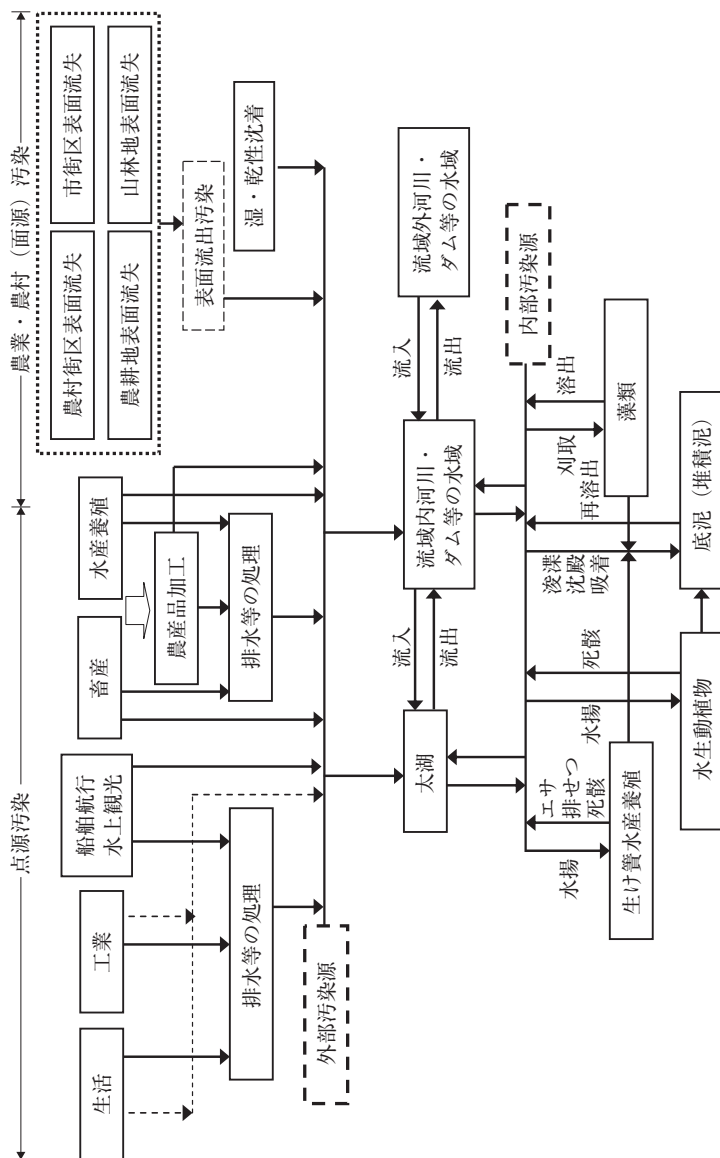
『太湖無錫地区水資源保護和水污染防治』（王主編 [2009]）では汚濁負荷の太湖への流入経路を図2のように示している。外部負荷源を「生活汚染」「工業汚染」「船舶航行」および「農業農村汚染」に分類し、農業・農村汚染をさらに、「畜産」「水産養殖」「農産物加工」「農地および農村からの面的流出」に分類している。その他として「市街地からの面的流出」「森林からの面的流出」および「降雨」を挙げている。これらのうち、生活汚染、工業汚染、船舶航行、畜産、水産養殖の一部および農産物加工については点源であるため、一部は何らかの処理プロセスを経て太湖に直接あるいは河川を通して流入し、太湖に至る。農地および農村からの面的流出、市街地からの面的流出、森林からの面的流出および降雨は面源であり、そのまま直接あるいは流入河川を経て太湖に流入する。

一方、内部負荷源として網生け簀などによる「内水面での水産養殖」「水生動植物の死骸」「底泥」および「藻類の死骸」が考えられており、水生動植物、底泥および藻類については負荷低減のために循環利用の必要性が記されている。ここでは汚濁負荷源とそのフローが網羅されており、後述する対策事業はこのフロー図を基本としていることがわかる。

2. 流域からの汚濁負荷発生状況

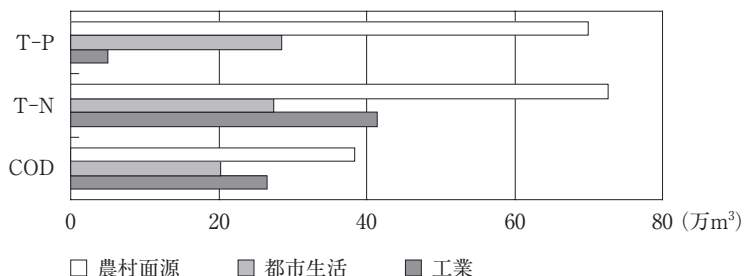
総体方案では、水質目標あるいは汚濁負荷削減目標を算定するうえでの基準（基準年）を2005年の実績としている。総体方案に示された2005年の太湖流域における汚濁負荷発生量はCOD（化学的酸素要求量）85万トン、T-N（総窒素）14万2000トン、T-P（総リン）1万300トンであった。図3にCOD、

図2 太湖における汚濁負荷種別と流入経路



(出所) 王主編 [2009] より筆者作成。

図3 太湖流域における年間汚濁負荷発生量（2005年）



（出所）総体方案から筆者作成。

（注）T-N、T-P の発生量は、それぞれ10倍、100倍にしてある。

T-N、T-P それぞれについて発生源を大きく工業、都市生活、農村面源に分けた負荷発生量を示す。ここで、それぞれの関係について図を見やすくするために、T-N および T-P の発生量はそれぞれ10倍および100倍しており、実際の発生量はそれぞれ10分の1および100分の1であることに留意願いたい。

いずれも農村面源の割合が大きく、COD、T-N、T-P それぞれについて45%、51%、68%であり、とくにT-Pにおける農村面源の割合がかなり大きくなっている。一方、過去2回の水環境保全計画である九五計画および十五計画において、集中的な対策が行われた工業に起因する発生負荷割合は、COD、T-N、T-P それぞれについて31%、29%、5%と小さくなった。このように、太湖流域の負荷削減は、工業あるいは生活排水を主とする都市生活といった点源対策から農村面源対策へ、その重要性がシフトしていることが明らかである。

『太湖無錫地区水資源保護和水污染防治』（王主編 [2009]）では無錫市からの太湖への汚濁負荷発生量の変遷について、CODを代表として以下のように記述している。この内容は無錫市のみのものであるが、基本的な傾向は太湖流域にも当てはまると考えられる。また、ここで示されている負荷量は、人口、耕地面積、家畜頭数、工業排水量や下水処理率といった統計情報をもとに、それぞれのCOD排出割合を乗じて仮定され、総体方案で示された発生量と同様の手法によっていると考えられるが、総体方案では具体的な手法

が明示されていないことから、同列での比較には注意が必要である。

①1950年代初め

1年間に水系に流入するCOD負荷量は2万トンに満たず、農村面源負荷量の割合が大きかった。ついで都市生活に関連した負荷量が多かったが、大部分を肥料として使用していたため、水系に流入する汚濁負荷量は小さいと考えられた。

②1970年代末

水系に流入するCOD負荷量は6万トン前後と推定された。この時期は文化大革命が終わり、改革開放が始まった時期で、経済発展のスピードが速まり社会に大きな変革が起こった。都市生活に関連した負荷量が多くなり、ついで工業からの負荷量が多く、両方で全体の負荷量の大部分を占めた。これはし尿および生ゴミの大部分が肥料として利用されず、廃棄されたこと、工業では郷鎮企業が発達し始めたことに起因している。つぎに農村面源負荷量が大きく、底泥からの再溶出負荷が増加し始めた。

③1990年

水系流入COD負荷量はすでに13万トンを超えていたと推定された。都市生活および工業に関連した負荷（下水処理場を含む、以下同じ）が依然として大きく、大部分を占めていた。し尿などの肥料利用が減少したにもかかわらず都市下水道整備が進まなかったこと、工業が大規模な発展を開始し、とくに郷鎮企業の発展が急速だったことがその原因である。ついで農村面源負荷量が比較的多く、底泥の再溶出負荷が増加した。

④2000年

COD負荷量は20万トン以上と推定され、2000年前後は負荷量が多かった時期であった。工業と都市生活に関連した負荷割合が依然として大きく、全体の大部分を占め、工業の負荷量が生活の負荷量を超えた。生活排水の一部が下水処理場で処理されるようになったものの工業の大規模かつ急速な発展による污水排出量の大幅な増加がその原因である。一方で都市下水道整備

の進捗にともなって、処理場が発生源となる処理水による負荷量が増加し始めた。農村面源負荷量は全体に占める割合は減少したが、総量としては依然と多く、その他の表面流出、船舶航行も一定の割合を占めていた。これは都市化により拡大した市街地からの表面流出が増加したことも一因である。また、底泥の再溶出負荷が増加を続けた。

⑤2005年

COD 負荷量は19万1000トンであった。2005年の水系流入負荷量は2000年前後のピークからは減少した。水環境保全事業の進捗により、下水道整備が急速に進捗したことに起因していると考えられるが、工業と都市生活に関連した負荷量の合計は12万7000トンで全体に占める割合は66%であった。都市下水道整備の進捗にともない、下水処理場からの排水量も増加し、負荷量全体の5.6%を占めるようになった。農村面源負荷量は20%を占めた。

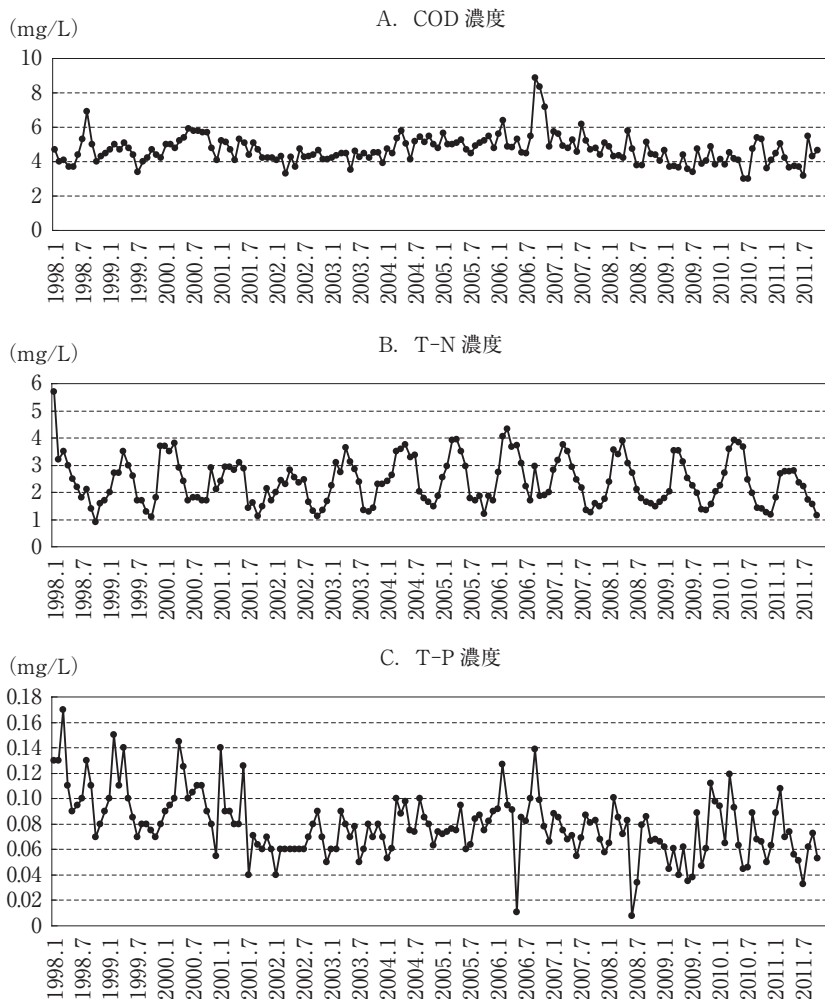
3. 水質の状況

「太湖健康状況報告2009」によると、2009年における太湖の平均水質はCOD 3.98ミリグラム／リットル、T-N 2.26 ミリグラム／リットルおよびT-P 0.062ミリグラム／リットルであった。総体方案による2012年までの水質目標はCOD、T-N、T-Pそれぞれ、4.5、2.0および0.07ミリグラム／リットルであるから、2009年においてはCOD およびT-P の目標を達成したといえる。しかしながら2020年までの目標水質はCOD、T-N、T-Pそれぞれ、4.0、1.2、および0.05ミリグラム／リットルであるので、COD は2009年の状況を維持し、窒素およびリンについてはさらなる負荷削減を必要としている。ちなみにこの2020年の水質目標は飲用水源としての利水を目的とする水質類型であるⅡ類～Ⅲ類⁽³⁾に相当している。

水利部太湖流域管理局が運営する「太湖網」では、太湖の月別の平均水質が「太湖流域省界水体水資源質量状況通報」に毎月公表されている。公表されている情報から入手可能な1998年から2011年まで14年間のCOD、T-N、

および T-P 濃度の月別の変遷を整理して図4に示す。COD, T-N, および T-P 濃度のいずれについても明確な濃度の上昇や下降の傾向を認めることはできず、ほぼ横ばいの状況といえる。COD については4～5ミリグラム

図4 太湖の平均水質の月別変遷（1998～2011年）



（出所）水資源保護局「各年月」より筆者作成。

／リットルの範囲で、T-P については0.05～0.1ミリグラム／リットルの範囲で、T-Nについては1～4ミリグラム／リットルの範囲で変動を繰り返している。ただし、T-N濃度については冬から春先に上昇し、夏場から秋にかけて下降する周期的な変動を示しており、春先における農地への施肥と太湖への流出による濃度増加および夏場から秋にかけての藻類増殖による窒素消費の影響と考えられる。

平均水質の変遷の結果だけでみると、太湖の水質改善を主たる目的としてきた九五計画から総体方案に至る事業実施の効果がみられないことになるが、中国の2000年代の急激な経済成長を牽引した長江デルタ地域に内包された湖としては、水質の悪化を防いだとも評価できる。太湖の特徴のひとつは浅いということであり、図2に示した汚濁負荷の流入経路のうち、底泥からの影響を受けやすく、外部からの負荷が削減されたとしても、底泥内に過去から蓄積された窒素やリンの再溶出による負荷を受け続けることとなる。

日本の浅い湖沼の代表である霞ヶ浦でも同様な傾向がみられ、霞ヶ浦環境科学センター（ウェブサイト参照）で公開している過去17年間の水質データ（COD, T-N, T-P）から明確な改善傾向をみることはできず、いわゆる横ばい状況が続いている。ここで、長期間にわたり水質改善がみられないという点では、日本の指定湖沼でも同様な傾向にあり、2004年には総務省による過去の水質保全事業に対する政策評価が行われ、その評価を受けて湖沼法の改正が行われた。

4. 水質汚濁の進行による影響

このような水質状況に対して『太湖無錫地区水資源保護和水污染防治』（王主編 [2009]）では、水質の汚濁進行の影響としてつぎのような点を指摘している。

①上水取水口の頻繁な移転

1990年代から梅梁湖の上水道取水口の水質が1年を通じて地表水環境基準のⅤ類を下回り、取水口の移転を迫られた。無錫市街の主要な水源地は、五里湖の中橋浄水場取水口から梅梁湖の梅園浄水場取水口、梅梁湖の小湾里、貢湖水源地へと移転を繰り返し、現在は長江への依存度を高めている。

②飲用水の水質への大きな影響

汚染された湖水が変色、懸濁して臭うようになり、さまざまな化学物質の混入や細菌の繁殖、藍藻の大発生で飲用に適さなくなってきた。

③市民の居住やレジャーへの影響

黒く悪臭を放つ川の水や大量の汚水を排出する污水排出口、湖の藍藻が人々の視覚や嗅覚に悪い印象を与え、居住環境や心身の健康に影響した。汚染が深刻な川辺や湖畔で長期間悪臭を吸い込むと体に影響し、特定の病気の発病率が大幅に高くなった。

④観光業への影響

黒く悪臭を放つ川の水や太湖の藻類の異常増殖が観光、生態系などに影響した。無錫の運河は観光スポットのひとつであるが、運河の水質汚染が深刻で一時期営業ができなくなった。現在は水環境が改善して営業が再開されている。アオコの周期的な異常増殖と死滅後の異臭が観光客に悪い印象を与えて、急速に発展していた観光業が深刻な打撃を受けた。

⑤工業等製品の品質と投資環境への影響

多くの工業製品、農作物、水産品が水質悪化で基準を満たさなくなり、製品品質に影響した。ある薬品は水中の $\text{NH}_4\text{-N}$ （アンモニウム窒素）が基準を超えたため生産できなくなった。灌漑用水が基準を満たさなくなり汚染物質が農産物に蓄積した。漁業も水質が基準を満たさず、一部の汚濁物質濃度が基準を超えた。工業用水も基準を満たさず製紙、製薬、食品、捺染、精密加工などの工業製品の品質に一定の影響が及んだ。水質汚濁が深刻になり、排水規制を大きく受ける企業への投資に影響が出た。

⑥生態系への影響

河道や湖の水面積が縮小し続けて河道や湖の容積が減少し、水田の面積が減少して水を溜める能力が小さくなり、干ばつや水害が増し、洪水防止の負担が大きくなった。川と湖の水生生物資源が衰退し、コイやフナなどの魚類の生産量が大幅に減少して、生態系の退化が加速し、水系の浄化能力が弱まった。

⑦水質汚濁による経済損失

無錫市の水質汚濁の損失は人々の健康、工業、農業、観光業および関連する各産業で現れている。健康被害による医薬費用の増大、水産養殖産品の品質低下による製品価格や販売への影響で多額の経済損失を招いた。浄水場では原水処理コストが水道水1立方メートル当たり0.10～0.20元増加し、無錫市では処理費用が年間3000～6000万元増えた。工業用の自家用水源は水質確保のために前処理が必要になり、1立方メートル当たりの費用が0.2～0.8元増加した。このほか、水産加工では水質汚濁の進行によって製品の品質が大幅に低下し経済損失をこうむった。このように太湖では水質汚濁の進行により、それに起因したアオコの異常増殖による影響も加わり飲用水、工業用水、農業用水の供給水質や市民の生活、労働環境や観光、投資に影響が出て、相当額の直接的あるいは間接的な経済損失が生じている。

これらの内容は定性的には理解できるものの、定量的な記述に対しては根拠などが示されていないことに留意が必要である。しかしながら、太湖の水環境悪化が無錫市の経済活動と市民の安心・安全に大きな影響を与えたことは容易に理解できる。

第3節 無錫市における水環境保全事業の実態

表1に示したように総体方案の範囲では、太湖の水質保全に係る、それぞ

れの事業の概要は示されているが、具体的内容については示されていない。以下では、「はじめに」で述べたように、太湖流域内の主要都市であり、水環境保全計画の実施に対して先導的な役割を担っている無錫市における具体的な対策事業の内容について、点源対策、農村面源対策および太湖の事業で特徴的な生態系修復を中心に、『太湖無錫地区水資源保護和水污染防治』（王主編 [2009]）をもとに整理する。同書は、2007年に太湖で大発生したアオコによる利水障害を受けて、無錫市の水汚染および水環境状況に関する系統的な調査分析を行うとともに、これまでの同市の水環境保全に関する取り組みを総括したうえで、具体的な対策内容を示したものであり、今後、総体方案の計画事業の実施状況を検証するにあたって基礎的な情報を提供している。

1. 点源対策事業

点源対策事業は工業排水処理を中心とした工業対策、下水およびゴミ処理を中心とした都市生活対策に大別される。点源対策は九五計画および十五計画の重点的な事業であったため、総体方案ではこれまでの計画をふまえた実効性の確保が大きな課題となっている。

(1) 工業対策

工業対策の主要な項目は以下のようにまとめられる。

- ①成長モデルの転換、構造調整、クリーナープロダクションによる汚染抑制。
- ②排出基準を引き上げ、より厳しい「排出規制」の実行。
- ③工業汚染の末端処理の厳格な実施。
- ④既存工業汚染源の移転と工業プロジェクトの工業団地への集積。
- ⑤一部の重汚染企業の閉鎖。

総体方案には、個々の工場に対する排出規制の強化とともに、工業構造の転換による排出抑制が提言されており、ここで示した主要項目はその提言とほぼ一致している。工業対策は九五計画時点から重点的に実施されてきた経

緯もあり、総体方案以降においては、一定のレベルに引き下げた汚濁負荷量を、汚濁排出負荷の大きな中小企業の淘汰と大規模化および集約化、あるいは処理水質基準の強化により、さらなる低減をめざすものである。

(2) 都市生活対策

都市生活対策は、下水処理率の増加をねらった下水管路網の建設整備、管路網により収集された生活排水を処理する下水処理場の建設、改築および都市ゴミ処理場の建設に大別される。中国の環境保護部がまとめた、中国全土の2010年における都市下水処理場の設置状況に関する報告「2010年全国投運城鎮污水处理設施清單」（環境保護部〔2011b〕）によると、無錫市では、2000年以前の下水処理場数はわずかに4カ所であったが、2010年末では60カ所が稼働しており、設計処理水量は199万トンであった。このうち、栄養塩除去を目的とした高度処理プロセスを採用している処理場が75%程度を占めていた。また、処理実績は設計水量の70%程度であり、下水収集管路網の建設が処理場建設に追いついていない実態に一部は起因していると考えられる。

このように、無錫市では下水処理場の建設が順調に進み、処理率もそれに応じて伸びている段階と考えられる。しかしながら、窒素・リン除去を目的としていない処理場数が25%程度を占めており、下水道普及率のさらなる増大を含めて、既存処理場の高度処理化が今後の課題であり、工業対策と同様に主要な項目は以下のようにまとめられる。

- ①都市下水処理場の新規建設の推進。
- ②排水収集管路網の整備の推進。
- ③総合都市下水処理場の建設。
- ④都市下水処理場の合理的な配置。
- ⑤すべての都市下水処理場の排出基準を一級 A 基準に引き上げる。
- ⑥都市下水処理場の管理と監督の強化。
- ⑦自動化された監視の強化。
- ⑧都市下水処理場処理水の再生利用と高度処理。

- ⑨下水処理場の処理水－湿地連係処理システムの建設とその試験的实施。
- ⑩分流式下水道における降雨にともなう高濃度な表面流出水処理システムの構築。

総体方案では下水処理場の整備と污水収集管路網の整備が示されており、ここで示した主要項目とも一致している。さらに、既存処理場の高度処理化、とくに畜産排水や工業排水の受け入れなど多様な検討課題が示されている点も注目される。

点源対策について工業対策および都市生活対策に関し、上記に示したそれぞれの対策項目について産業調整や規制強化あるいは研究開発といった分類を行い、具体的な事業の概要を表2に示した。

2. 農村面源対策事業

九五計画では主として工業排水対策を、十五計画では主として都市生活排水対策といった点源対策を事業の重点として実施してきた。しかしながら、第2節第2項「流域からの汚濁負荷発生状況」で示したように、2005年時点における太湖流域からの汚濁負荷発生量の50%以上は農村面源に起因している。両計画ではともに農村面源対策の重要性は認知していたものの、科学的知見の不足から、これらを補完するためのモデル事業の実施を主体としていた。十五計画では農村面源対策事業の計画投資額に対する実績額の割合は65%であったのに対して、工業排水あるいは都市生活対策では実績額が計画額を上回った。このような事実からも農村面源対策実施の難しさを垣間みることができ、総体方案では十五計画の2.2倍に当たる50億元の投資が計画されており、十五計画までのモデル事業などをベースとした事業展開が図られるものと考えられる。

ここで無錫市の農村面源対策は、農地における対策、畜産および水産養殖における対策および農村生活排水対策に大別され、主要な項目は農耕地、畜産・養鶏および水産養殖について以下のようにまとめられるが、関連する対

表2 無錫市における点源対策の実績

対象	事業分類	事業項目	事業概要
工業	産業構造調整	成長モデルの転換、構造調整、クリーナープロダクションによる汚染抑制	<ul style="list-style-type: none"> ・工業汚染源に関する基礎データ把握による汚濁物質削減施策の決定と効率的な排出監視と監督。 ・クリーナープロダクションの全面的な推進による「低消費、低排出、ハイテク、高効率」のハイテク産業の振興および省エネ・省資源、高効率な産業体系の形成。 ・遅れた生産能力、生産工程、設備を制限・廃止して、汚染の少ない生産工程、設備、代替原料を選択。 ・企業内部の汚染物質の総合利用や企業間の汚染物質の相互利用を実施して、さらに複数のメーカーによる合同処理を進め、最終的にはゼロエミッション化をめざす。 ・新規に建設する工場は審査と環境影響評価を厳しくし、工業排水の水域への放流を基本的に禁止し、既存企業では工場増築にともなう汚濁負荷の増加を認めない。 ・工業排水を下水処理場で受け入れる場合、処理効率が上がるように、排水のピークカットを行い、適切な前処理により排水の濃度を排水受入水質基準まで引き下げる。 ・工業排水に対して従来の COD 排出抑制に加え、N・P 排出抑制を徹底する。
		既存工業汚染源の移転と工業団地への集約化	<ul style="list-style-type: none"> ・主要な工業汚染企業を適切な工業団地または開発区に移転させ、集約化を図る。 ・無錫市街地の第二環状線内の大、中規模汚染企業100社余りを2010年までにすべて「4つの開発区、8つの工業団地」に移転させる。 ・新規建設する規模が大きな工場はすべて相応の開発区、工業団地に集める。 ・すべての開発区、工業団地に下水処理場を建設し、工業排水を分類して集中的に処理し、処理効率を引き上げ、処理コストを下げる。
	規制強化	排出基準を引き上げ、より厳しい排出規制の実行	<ul style="list-style-type: none"> ・一定の期間を経て工業排水排出基準を「都市下水処理場汚染排出基準 GB18918-2002」にまで引き上げ、さらに「地表水環境基準 GB3838-2002」V類まで引き上げること目標とする。 ・再生水の利用率を高め、徐々にゼロエミッション化を達成する。
		工業汚染の末端処理を厳格に実施	<ul style="list-style-type: none"> ・新たな排水基準である「江蘇省太湖地区都市下水処理場および重点工業主要汚染物質排出制限値 DB32/1072-2007」を適用しても大部分の工業排水の COD 値が都市下水処理場一級 A 放流基準値よりも高いため、それぞれの処理水を、都市下水処理場に送って集中的に処理する。

表2 のつづき

対象	事業分類	事業項目	事業概要
工業	規制強化	工業汚染の末端処理を厳格に実施	<ul style="list-style-type: none"> ・ 工場の生活排水は都市下水処理場に送って処理する。 ・ 給水能力が1日に1万トン以上の浄水場の排水は、すべて段階的に処理を行う。排水処理にともなう廃棄物は資源化利用を進め、あるいは安全な処理をし、基本的なゼロエミッション化を実現する。 ・ 企業内部の排水処理施設の管理と監督を強化し、監視を逃れた排出や基準を超えた排出を根絶する。 ・ 排水水質の定期的監視やオンライン自動監視を強化する。 ・ 環境保護部門や水利部門の工業排水排出規制に対する監督体制を強化し、改善する。 ・ 大衆が監督に参加する体制を強化する。 ・ 製造業における排水処理は専門業者に委託してもよく、工業団地の複数の企業の類似した排水を専門の下水処理業者が一括して請負ってもよい。 ・ 工業廃棄物の無害化処理と資源化総合利用を推進する。
	規制強化および産業構造調整	一部の工業汚染企業を閉鎖	<ul style="list-style-type: none"> ・ 化学工業を中心に、汚染企業は排出規制を遵守させるか、工業団地に移転して排水を集中処理させるか、営業を停止させる。
都市生活	下水道整備	新規建設の推進	<ul style="list-style-type: none"> ・ 2010年までに、すべての都市と鎮は下水集中処理場を建設するか、下水を他の鎮の下水処理場に送って集中処理しなければならない。
		排水収集管路網の整備の推進	<ul style="list-style-type: none"> ・ 既存下水処理場の排水収集管路網の整備を2010年までに基本的に終え、新規建設または拡張する下水処理場の排水収集管路網は建設工事の進捗と並行して進める。
		総合都市下水処理場の建設	<ul style="list-style-type: none"> ・ 市街区の下水処理場は生活排水の処理を中心とし、工業排水も処理する。 ・ 郷や鎮の下水処理場は工業排水と生活排水の両方を処理する。 ・ 今後の課題として、初期雨水による表面流出や畜産・養殖排水の受け入れおよび処理を考慮する。
		都市下水処理場の合理的な配置	<ul style="list-style-type: none"> ・ 都市下水処理場は、下水処理場の規模が当該地区の排水処理ニーズを満たせるか、排水収集範囲の大きさが適切か、単位処理量当たりの投資が小さいか、処理の運転管理コストが安いのか、処理効果が高いか、行政管理と運営管理がしやすいかを考慮し、工業団地の産業の性質や排水の種類、生活排水と工業排水の排出量と比率、新規建設か拡張か、等の要素を総合的に分析して配置する。

表2 のつづき

対象	事業分類	事業項目	事業概要
都市生活	下水道整備	都市下水処理場の合理的な配置	<ul style="list-style-type: none"> 農村や山間区の人口密度の低い地域（分散居住区）では都市域に比べ処理施設の悪臭防止等の環境対策に対する要求あるいは土地利用の制約は少ないものの、主として経済面での制約があるため、小規模の下水処理場や簡易な下水処理施設あるいはプレダムを建設したり、湿地を利用するなどして、分散居住区の生活排水や畜産・養殖排水を処理し、排水処理システムの一部や都市排水集中処理場を補完する。
		都市下水処理場の処理水の再生利用と高度処理	<ul style="list-style-type: none"> 排水基準が前述の一級Aであれば、工業、農業および都市非飲用水の再生水水質基準をすでに満たしており、工業用冷却水、洗淨水、ボイラー水、農業および林業用水、都市のトイレ用、道路の水まき用、緑化用、施工用等に直接使用できるため、再利用を促進させる。 排水基準が一級A以下の場合には、処理水をさらに高度処理する必要があるが、高度処理には湿地等を利用する自然処理システムを採用しても、処理水高度処理施設を建設してもよい。
	規制強化	全ての都市下水処理場の排出基準を一級Aに引き上げ	<ul style="list-style-type: none"> 新規建設、拡張する下水処理場は排出基準を一級A基準とし、既存の一級A基準に満たない下水処理場は2010年までに一級A基準に引き上げる。
		汚泥処理の強化	<ul style="list-style-type: none"> 都市下水処理場の汚泥はすべて無害化処理をし、汚泥の焼却、安定化埋め立て、資源化利用を進め、汚泥による2次汚染を根絶する。
	管理体制強化	都市下水処理システムの管理と監督の強化	<ul style="list-style-type: none"> 下水処理場内の管理を強化し、下水処理場の指導者、管理者の認識を高め、運転管理者の教育レベルと技術レベルを強化し、下水処理場の運営管理と排水収集管路網のメンテナンス管理を強化して、不安定な稼働や下水処理場からの違法排出をなくす。 既設の下水処理場の管理と監督のうち、特に排出規制について厳しい監督管理措置を定め、違法排出を根絶する。
		自動化された監視の強化	<ul style="list-style-type: none"> 下水処理場の処理水排出口に自動監視装置を設置して水質と水量を監視するが、COD、T-N、T-P、NH₄-Nを必須計測項目とする。 自動監視は人為監視と組み合わせて行う。
	技術開発	下水処理場の排水-湿地連係処理システムの建設とその試験的实施	<ul style="list-style-type: none"> 下水処理水の高度処理システムとして湿地システムを活用して、窒素・リン除去効率を引き上げる。 下水処理場の新規建設を計画する場合に、現場の環境条件にもとづいて、処理プロセスとして下水処理場-湿地連係処理システムの活用を検討する。

表2 のつづき

対象	事業分類	事業項目	事業概要
都市生活	技術開発	分流式下水道における降雨にともなう高濃度表面流出水処理システムの構築	・分流式下水道の整備を基本として、分流式下水道において少雨時の雨水および大雨時の初期20～30分程度の雨水を下水処理場で汚水と共に処理するシステムを開発・構築する。
	都市ゴミ対策	ゴミ回収体制の構築	<ul style="list-style-type: none"> ・ゴミの減量化、資源化、無害化を原則とし、生活ゴミの無害化処理施設を急ぐ。 ・台所ゴミを試験的に処理して都市のゴミ回収体制を改善する。 ・村の衛生管理、ゴミ回収の長期的資金調達メカニズムを構築する。 ・既存のゴミ埋め立て場を拡張し、技術を改良し、ゴミ処理場の浸透液を処理する。 ・条件が整っている場合は徐々に都市ゴミの分別回収を進め、分別処理を試験的に実施する。

(出所) 王主編 [2009] より筆者作成。

策として、雨などの大気沈着による負荷を削減するために、大気汚染対策の推進についても言及されている。

(1) 農耕地

農耕地における対策は、農耕地そのものからの排出抑制および農業用水路などにおける農地からの流出水の汚濁負荷削減に分けられる。

- ①農業構造の調整。
- ②窒素・リン肥料削減技術の開発・普及。
- ③節水型農業への転換。
- ④農業副産物の減量化。
- ⑤農地の緑化水路と緑化隔離帯の建設。
- ⑥農地からの表流水を受け入れるプレダムの建設。
- ⑦河川における自然護岸の建設。

有機農業の推進や作付転換による化学肥料施肥量の削減、農業副産物の循環利用、節水による農地からの汚濁負荷削減および農地からの流出水について

て、自然浄化機能を強化した削減手法の適用などが取り上げられている。

(2) 畜産・養鶏

畜産・養鶏における負荷削減対策の基本的な考え方は、①大規模化を進め、②畜産排水処理の効率化を図ることが主眼となっている。具体的には、大規模化を進めるための規則と排水の管理（処理）に大別される。

(3) 水産養殖

水産養殖における削減手法は、①給餌の適正化と、②排水の処理であり、処理手法としては、建設および運転コストが低い自然処理が考えられている。

農村面源対策について上記に示した、農耕地、畜産・養鶏および水産養殖に関する主要な対策項目を点源対策と同様に分類を行い、具体的な事業概要を表3に示した。

3. 生態系修復事業

生態系修復は、九五計画の段階から水質改善と生態系修復が水環境修復の両輪として位置づけられてきた。生態系修復事業は、無錫市に面した太湖から派生したような小さな水たまりをイメージさせる、表面積が8.6平方キロメートルの五里湖を、最初のモデル水域として開始された。ここでは水質を改善することにより旧来の生態系を復活させるという、生態系修復の原因としての水質改善ではなく、旧来の生態系を人為的かつ積極的に形作ることにより、水質改善をさらに加速するといった生態系修復に関する基本的な考えに基づいている。具体的な内容を表4に示す。事業は表の対策事業項目の上から下に向けて、つまり、第1～第4段階に向けて実施され、維持管理の段階に至る。要約すると内部負荷の低減、複数の手法により対象とする水域の水質改善、生物群の人為的な操作から旧来の生態系の安定した復元をめざすものである。

表3 無錫市における面源対策の実際

対象	事業分類	事業項目	事業概要
農地	産業調整 および方 式変更	農業構造の 調整	<ul style="list-style-type: none"> ・農業の集約化および大規模経営を実施する。 ・作付構造の調整および作付方法の改良により農地汚染を減らして、有機農業と都市農業を発展させ、農業の生産量と生産額を引き上げるとともに、観光・レジャー業等の都市向けのサービスを提供することにより国民生活の質の向上に貢献する。
		節水型農業 への転換	<ul style="list-style-type: none"> ・節水灌漑法を採用する。 ・大雨による農地からの流出水を削減するために畦を高くして、農地の貯水深度と貯水量を増やす。 ・養分の効率的利用のために、農地からの流出水を循環利用する。
		農業副産物 の減量化	<ul style="list-style-type: none"> ・農業副産物を建築材料、工芸品や生活用品、農業工事や水利工事用の護岸材料等に再利用する。
	流出水対 策	農地の緑化 水路と緑化 隔離帯の建 設	<ul style="list-style-type: none"> ・農地の排水溝の底と壁面に多孔硬質材料を用い、孔に水と多湿を好む植物を植栽し、農地からの流出水の浄化を図る。 ・野菜畑や他の畑に地表流出を効果的に遮る植被帯を作り、T-N・T-Pの流失を防ぐ。
		農地からの 表流水を受 け入れるブ レダムの建 設	<ul style="list-style-type: none"> ・ブレダムは廃棄された河道、河道の砂州、川岸、養殖池、低地を利用して建設し、周囲の農地からの流出水、簡易処理した生活排水を受け入れる。 ・ブレダムは水質浄化に寄与する酸化池および多自然型河道設計等を取り入れ、生態系修復の機能を併設する。
		河川におけ る自然護岸 の建設	<ul style="list-style-type: none"> ・農業地区内にある多くの河道に植物を植え、河道を十分に利用して生態系修復を行う（日本における多自然型護岸の考え方と同義）。
	技術開発	窒素・リン 農業削減技 術の開発・普 及	<ul style="list-style-type: none"> ・作付制度と作付構造を調整して化学肥料を削減する。たとえば、水稲—小麦、水稲—緑肥、水稲—アブラナ科植物の輪作を行う。 ・土地測量に基づいた施肥を行い、農地に投入する養分と作物が求めるピーク値とを組み合わせ、最適な施肥技術を検討する。 ・作物の輪作は切り株を残し、作物の茎を農地に戻す技術を採用して、手間をかけず、養分を循環させ、農地の表面流出を減らし、流出水中のT-N・T-P濃度を減らす。 ・T-N・T-P流出の少ない遅効性肥料の研究・開発を行う。 ・病気と害虫の監視を強化し、バイオ農業や低毒低残留農業を普及させて、減農業技術を確立する。 ・微生物予防および物理予防技術を広め、耕作制度を改善して病気や害虫を予防する。
		畜産強化	<ul style="list-style-type: none"> ・畜産禁止区域を定める（都市、郷鎮、住民居住区、景観区、水源区、太湖の周囲1 km および湖への主要な流入河道の下流10 km、両側1 kmの範囲、ならびにその他の重要区域を含む）。

表3 のつづき

対象	事業分類	事業項目	事業概要
畜産・養鶏	規制強化	規則の制定と措置	<ul style="list-style-type: none"> ・畜産禁止区域内にある畜産場（畜産農家）は、規定の期間内に閉鎖するか移転しなければならない。 ・畜産制限区（太湖の周囲 1～5 km）は、畜産場の新規建設を禁止し、既存の畜産場は乾湿分離、雨水・汚水分流等の環境保護施設を改善し、し尿の無害化処理を実施し、農業と畜産を結びつけたゼロエミッションを実現する。 ・環境保護要求に合わない畜産場は、期限を決めて改善させるか、強制的に閉鎖させる。 ・上記以外の地域または太湖から 5 km 以上離れた地域は畜産可能区とし、汚染物質の総量規制と大規模経営を実施する。 ・人畜分離、集中管理の原則に照らし、大型畜産場が集まっている地区にクリーン畜産エリアを建設する。
	処理方式転換	排水および廃棄物の管理	<ul style="list-style-type: none"> ・中小の畜産場は高床式発酵床による畜産技術を広め、高床式発酵床で糞尿等の排せつ物を生物分解し、豚小屋（柵、小屋）の水洗浄をなくし、悪臭の少ない、排せつ物のゼロエミッション化を実現する。 ・大・中規模の牛や豚の畜産場や大型養鶏場は、汚染の少ない管理方式を採用し、畜禽の排せつ物は乾式処理法や水洗代替法を用いて、畜禽飼育からの廃棄物を資源化利用を前提とした無害化処理をして総合利用する。 ・小規模な畜産場や分散した畜産場で発生する污水について当面はブレダム、湿地、または污水集中処理場、污水簡易処理施設で処理するが、徐々に規模を大きくし、集中無害化処理をめざす。
水産養殖			<ul style="list-style-type: none"> ・養殖池（生け簀）における給餌の適正化を図り、餌の残留を減少させる。 ・養殖池からの排水に対応したブレダム処理システムを建設し、養殖池エリアを養殖区と湿地処理浄化区に区切り、養殖池—湿地処理システムを構築して、養殖池からの排水を処理して再利用する。養殖池の底泥は外部の水域へ排出されないようにする。 ・都市に隣接した太湖の周囲および水源地付近の養殖池は埋め立てて緑化し、景観区を建設し、一部の養殖池は観賞用とする。 ・隣り合う大規模な養殖池は合理的に配置し、同一エリア内を主養殖区、混在区、湿地浄化区、水源区等の 4 つの機能区に分け、養殖池—湿地の処理システムを構築する。
農村生活	環境改善	生活排水	<ul style="list-style-type: none"> ・モデル事業による技術淘汰と実証を基盤とした小規模分散型排水処理システムの効率的な導入と普及。

（出所） 王主編 [2009] より筆者作成。

表4 無錫市における生態系修復事業の実例（五里湖の事例）

対象	事業分類	事業項目	事業概要
湖沼生態系 (植生・水生生物)	生態系修復・生態系復元	外部汚染源の抑制と内部汚染源の削減（第1段階）	<ul style="list-style-type: none"> 外部からの五里湖への流入を遮断し、重汚染湖区では浚渫を行い内部汚染源を除去する。
		生存環境の創成（第2段階：水生生物の生存環境条件の改善）	<ul style="list-style-type: none"> 湖底を修復し、水質を改善して生態系修復の条件を整える。 切り立った急斜面の硬質な護岸を改造し、沿岸の湿地を修復し、養殖池の底部を耕作し、人為的に水位調整と外部との水の出入りを抑制する。 エンジン船舶の航行を禁止して、透明度を引き上げ、湖の底泥巻き上げによる窒素、リンなどの内部負荷発生量を低減する。
		生態系の修復（第3段階：復元）	<ul style="list-style-type: none"> 菖蒲、スイレン、ハス、ヒシ、クロモ等の水生植物を人為的に植つける。 これらの水生植物により水域の窒素、リンの吸収、底泥の固定および消波効果による底泥からの内部負荷の引き下げおよび透明度を確保する。 水生動物としてタニシ、カラスガイ、シジミ、ハクレン、コクレン等を放流した。
		安定した生態系維持のための人為的調整（第4段階）	<ul style="list-style-type: none"> 一定の範囲または限度内で生態系修復区水域の外部環境を調整する。 季節に応じて水草を導入する。 安定した生態系維持のために1年を通じて水生植物、底棲動物、魚類群の数量を最適化する。
		維持管理	<ul style="list-style-type: none"> 継続的なモニタリング。 モニタリングに基づいた人為的な生態系の調整。 親水公園機能の整備と管理。

(出所) 王主編 [2009] より筆者作成。

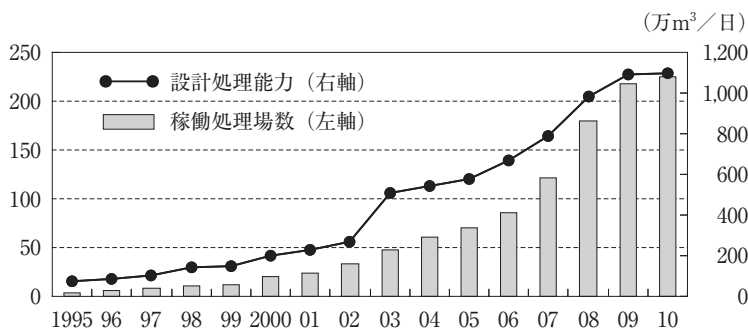
第4節 水環境保全事業の展開と課題

1. 都市から農村へシフトする生活排水対策

(1) 太湖流域における下水処理の推移と現況

無錫市における下水処理場の現況と推移は上述したが、同様に流域全体の状況を図5に示す。流域全体では2010年末に225カ所の処理場が稼働中であり、その処理能力は1100万立方メートル／日であった。九五計画の終了した2000年では20カ所、200万立方メートル／日に過ぎず、九五計画中の処理能力の増加は126万立方メートル／日に過ぎなかった。十五計画の処理数と処理能力の増加は50カ所、376万立方メートル／日であったが、第11次5カ年計画（以下、十一五計画）期間に相当する2006年から2010年では155カ所、522万立方メートル／日と急増している。とくに2007年からの新規稼働数が著しく、それまでの10～15カ所程度から2007年、2008年、2009年それぞれで36、58、38カ所に上った。ただし、2010年の新規稼働は7カ所で8万立方メートル／日の処理量の増加にとどまっていることから、都市部での下水道整備が終了しつつあることがうかがえる。事実、稼働した処理場数と増加した

図5 太湖流域における下水処理場数と処理能力の推移



(出所) 環境保護部 [2011b] より筆者作成。

処理能力の関係から考えると1処理場当たりの処理能力は、九五計画、十五計画、十一五計画相当期間それぞれで、7.9万、7.5万、および3.4万立方メートル／日となり、下水道整備の対象が小城镇（小都市）クラスへとシフトしていった様子がうかがえる。

ここで中国全体では2010年末で2738カ所の処理場が稼働し、その処理能力は1億2501万立方メートルであり、十五計画終了時の2005年の実績に比べて、処理場数で5倍、処理能力で2.5倍となった。ここでも1施設当たりの処理能力は小さくなっており、中国全体においても同様な傾向がみられる（水落・小柳・久山〔2011〕）。

一方、処理手法について、太湖流域では75%の処理場に「嫌気・無酸素・好気法」、「無酸素・嫌気法」あるいは「間欠ばっ気法」といった窒素、リン除去を目的とした方法が採用されていた。これを高度処理というが、その処理率は中国全体での40%と比べ、非常に高い割合となり、徹底した事業の展開がうかがえる⁽⁴⁾。

このように太湖流域では、国の十一五計画において、COD排出量の10%削減が拘束性指標となったこと、2007年のアオコ異常増殖による無錫市の水道供給停止事故を受けて総体方案が立ち上げられたことから、急ピッチで下水処理場の建設が進められたものと考えられる。しかしながら、安定した下水処理には一定レベルの運転管理が必要なことから、これらの建設に見合うだけの運転管理体制が確保できたかどうかが重要である。処理場の設計および建設に問題がなくとも、運転管理が未熟であれば、計画した処理水質を得ることは困難であり、下水道整備が新たな水質汚濁を引き起こしかねない。

また、処理にともなって発生する余剰汚泥の処理、処分も大きな問題である。下水処理で一般的な生物処理は比較的簡便で安定した処理方法ではあるが、流入する有機物の40～50%が余剰汚泥に形を変えて発生する。すでに中国ではこれらの汚泥の無害化処理、処分が大きな行政課題となっているが、太湖流域においても緊急性を有する重要な課題であり、表3に示した無錫市の事業でも言及されている。また、上述したように下水処理場の建設状況か

ら都市部での下水道整備は終了しつつあるが、後述する農村部における小規模な下水道整備による生活排水対策は今後、急速に進捗すると考えられる。日本の事例からもこのような小規模かつ分散した状況における余剰汚泥の処理、処分は難しい状況に直面している。

(2) 農村生活排水対策

われわれが中国に抱くイメージのひとつとして、日本の高度成長以前まではよくみられた農村におけるし尿の循環利用がある。しかしながら、本章第2節で示した無錫市における汚濁負荷発生量の変遷あるいは第2章で詳述するように、太湖流域では農業構造の急激な変化により、1990年からの化学肥料投入量は急増しており、日本の昭和30年代から40年代にかけて顕在化したように、地域で発生するし尿が行き場を失い、し尿余りが加速していることは容易に想像できる。また、近年では村庄建設を経て2006年から提唱された新農村建設による農村環境改善事業が活発に実施されている。そのなかで衛生トイレへの移行が提唱されており、高層タイプの住宅整備も相まって水洗トイレへの移行が促進されていると考えられる。

総体方案あるいは上述した無錫市の事業計画にも、農村における生活排水処理が挙げられている。総体方案に対応した江蘇省の事業計画では、このような事業へ1998～2012年までの第1期間に42億元、2012～2020年までの第2期間に36億元の投資が予定されており、それぞれ農村面源対策全体の40%程度を占めている（江蘇省 [2010]）。現時点ではモデル事業が実施されている段階であるが、2011年から開始された国の第12次5カ年計画（以下、十二五計画）にも明確に位置づけられたことから、今後は急速に事業展開が進むものと考えられる。下記に筆者が調査した事例を示す⁽⁵⁾。

総体方案の考え方として、農村における生活排水処理施設は生物処理を基本とし、初期コストが低廉で、安定した運転を得られ、保守が簡便でなくてはならず、処理水質は都市下水の二級処理基準に準ずるとされている。このような条件から、現在実施されているモデル事業では、初期コストと運転管

理コストを削減可能な、酸化池や人工湿地といった自然処理の導入が検討されている。

写真1に宜興市における処理施設のモデル設置状況を示す。左は散水濾床法という生物処理法に人工湿地を組み合わせた施設で、右は接触ばっき法という生物処理法による施設である⁽⁶⁾。現在はさまざまな処理方法をモデル的に試行錯誤している段階であり、日本の環境省も関連する技術協力プロジェクトを実施している（水落ほか [2009]，水落 [2009, 2010a]）。

日本の下水道を含む、生活排水対策事業では処理施設の処理性能を担保するために、処理施設の設計および運転管理に対して公的な技術ガイドラインが示されてきた。中国においても上記のモデル事業をふまえた技術ガイドライン策定が必要と考えられる。また、とくに運転管理に関しては事業の進捗にともなって大量の管理要員が必要となることから、運転管理に係る資格制度および要員の養成制度が必要となると考えられる。処理技術も運転管理も市場に委ねるという選択肢はあるが、急速な普及のためには一定の公的管理

写真1 農村分散型生活排水処理施設のモデル設置状況（宜興市）



（出所）2009年6月に筆者が撮影。

（注）左は散水濾床法という生物処理法に人工湿地を組み合わせた施設。右は接触ばっき法という生物処理法による施設。

が重要と考えられる。

2. 農村面源対策事業の検証

農村面源は工業排水のような点源に比べて削減効果を判定することが難しく、一定の広さを有する農村地域単位での検証が必要となる。無錫市では、十五計画期間に宜興市大浦鎮にモデル地域を設定して、農村面源負荷削減に関する実証化事業が実施された。モデル地区は太湖に面した宜興市大浦鎮の東南部に位置する典型的な湖岸クリーク地帯であり、面積24平方キロメートル、農家8115戸、居住人口2万8000人程度で、14の行政村落と33の自然村落が存在する小流域を選択した。

『太湖無錫地区水資源保護和水污染防治』（王主編〔2009〕）に示されたモデル事業の概要によると、モデル地域における事業実施前の年間施肥量は1平方キロメートル当たりNで540～600キログラム、 P_2O_5 （リン酸）で150～300キログラムであり、総体方案に示された推奨施肥量を大きく上回っていた。また、生活排水の処理率は低く、し尿については貯留式トイレに貯められ、農地利用されていたが、生活雑排水はほぼ未処理で放流されていた。また、一部で水洗トイレの普及もみられ、きわめて簡便に処理されただけで放流されていた。さらに、生活ゴミの収集システムが存在しておらず、路上や河道に廃棄されたゴミにより、周辺河川の汚染が深刻であった。太湖に流入する流域末端におけるT-NおよびT-P濃度はⅤ類以下の水質であった。このようなモデル地区において表3に示したさまざまな農村面源に対する対策を実施したが、主要な項目は施肥量の管理、流域内における農業用水路および集水河川における浄化対策、集落における生活排水処理などである。2003年から開始された実証事業により2005年には太湖に流入する流域末端のひとつである林庄港において NH_4-N はⅤ類からⅢ類になり、46%削減された。T-PはⅤ類以下からⅢ類になり、91%削減された。 $COD_{Mn}^{(7)}$ は31%削減された。T-NはⅤ類以下のままだったが、濃度としては64%改善された。表5に事

表5 農村面源に係る水質保全モデル事業の効果（林庄港の水質結果）

（単位：mg/L）

	項目	COD _{Mn}	NH ₄ -N	T-N	T-P
2002年	平均濃度	8.78	1.17	6.49	1.51
	水質類型	Ⅳ	Ⅴ	劣Ⅴ	劣Ⅴ
2005年	平均濃度	6.04	0.63	2.37	0.14
	水質類型	Ⅳ	Ⅲ	劣Ⅴ	Ⅲ
平均水質改善率（％）		31.2	46.2	63.5	90.7

（出所）王主編〔2009〕より筆者作成。

業実施前の2002年および事業実施後の2005年の林庄港の水質結果を示す。ここではモニタリングの頻度などが不明なため、表に示された削減率の精度に問題はあるが、モデル事業の実施によりモデル地域の下流にあたる林庄港の水質が大幅な改善傾向を示したことは明らかである。

このモデル事業の成果を受けて、無錫市では総面積1680平方キロメートルの8カ所の農村・農業汚染抑制区を建設する計画であり、2020年までにすべての抑制区建設を終える予定である。農村面源からの負荷削減においてはさまざまな対策項目が同時並行的に実施されるため、工業排水や生活排水などの点源対策以上に管理の位置づけが重要となる。したがって農村・農業汚染抑制区の制定により管理責任を明確化し、農村地域からの実効性のある汚濁負荷削減を担保すると考えられる。太湖への汚濁負荷の半分以上を占める農村面源からの負荷削減は重要であることから、今後の成果を注視する必要がある。

3. 畜産からの汚濁負荷

図2の汚濁負荷発生フローに示したように、農村面源の主要な内訳はおおむね、農地からの表面流出、畜産排水、水産養殖および農業地域における生活排水である。総体方案には農村面源の内訳別の負荷発生量は示されておらず、これらの割合は不明である。筆者は太湖流域を内包する長江デルタ地域

から排出される COD, T-N, T-P の負荷発生量を, 生活排水, 工業, 土地面源 (農地), 畜産, 水産養殖に分けて推計した (水落・王・大場 [2011])。この推計では, 人間生活に起因する生活排水を都市, 農村の区別なしに合計した。総体方案に示された「都市生活」は降雨にともなう都市の道路などからの表面流出を含んでいるが, 生活排水が主と考えられる。また, 総体方案で農村地域における生活排水は「農村面源」に含まれている。ここで, 負荷発生量は, 日本における一般的な手法である『平成20年度版流域別下水道整備総合計画調査指針と解説』(流域別下水道整備総合計画制度設計会議編 [2008]) に示された原単位法を用いて推計を行った。

その結果, COD, T-N, T-P いずれも農業活動からの発生割合が70%程度となり卓越していた。内訳は COD および T-N で農地からの割合が40%程度と大きく, T-P では畜産からの割合が50%程度と大きく卓越していた。また, COD についても30%と大きな割合を示した。一方, T-N は農地が40%程度と卓越していた。農地からの窒素負荷は施肥管理という技術的な困難をとまなわない対策で実現可能となるが, 畜産からの負荷は何らかの処理技術投入の必要性を示している。このような状況をふまえて, 太湖流域では産業構造の転換による農業の大規模集約化が進められていると考えられる。つまり, 旧来は分散的かつ小規模で面源として考えられる負荷発生源であった畜産を大規模集約化することによって, 排水処理の効率化と管理性を高め, 大規模集約化の本来目的である生産効率向上と環境対策の強化をねらうものである。

表3の畜産における対策事業に示したように, 無錫市では中小の畜産場に対して高床式発酵床技術の導入が計画されている。従来の飼育方法では家畜小屋の床に排せつされた糞尿を物理的に排除していた。本法ではおがくずなどを敷き詰めたうえで, 豚などを飼育し, 排出される糞尿をおがくず内に分散させ, おがくずに付着した微生物の発酵作用により分解処理するものである⁽⁸⁾。糞尿の大部分は生物分解され, 一部がおがくず内に残留するが, 定期的に一定割合を有機肥料 (コンポスト) として取り出し, 新たなおがくずが投入される。また, 豚もこの発酵床を食べるため, 飼料の減量につながる。

しかしながら、おがくずの確保、大量に発生する有機肥料、発酵床の適正管理（主として水分および $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度）など、管理としては従来の飼育手法と比べて煩雑になる傾向があり、不適正な管理下においては大きな汚染源となる可能性がある。この可能性は他の処理方法による大規模な畜産場においても同様で、処理技術に応じた運転管理レベルの確保が重要である。

4. 生態系修復事業の成果と課題

(1) 五里湖における事業成果

五里湖は、無錫市に面した太湖から派生したような小さな水たまりをイメージさせる、表面積が8.6平方キロメートルの水域である。過去には無錫市の上水取水源だったこともあるが、湖岸には水産養殖池が並び、無錫市からの排水が流れ込むために水質汚濁が非常に進んだ水域であった。しかしながら、五里湖は外部から流入する11本の河道はすべて水門で管理されており、外部の影響を遮断でき、かつ水生植物の生長に適した水位調整が可能な状況にあった。このような状況をふまえ、太湖の水環境修復の象徴的な意味合いから、この水域で生態系修復に関して初期の検討が行われ、その成果がほかの水域へ展開されているものと考えられる。そのなかで、『太湖無錫地区水資源保護和水污染防治』（王主編 [2009]）に示された西五里湖生態系修復試験区での成果を以下に示す。なお、試験区の面積は2.87平方キロメートルであった。

事業開始前の水質はV類以下で、透明度は20～30センチメートルであった。事業は2003年から2005年にかけて実施された。事業の結果、2005年の水質は2002年と比べて大幅に改善し、生態系修復実証区の $\text{NH}_4\text{-N}$ はⅢ～Ⅳ類、平均Ⅲ類になった。T-PはⅢ～Ⅳ類、平均Ⅳ類になり、 COD_{Mn} はすべての区でⅢ～Ⅳ類になった。T-Nは依然としてV類～V類以下（劣V類）であったが、濃度は60～70%程度減少した。

一方、生態系の修復として事業前は挺水植物と沈水植物がほぼ生息してい

なかったが、2005年には挺水植物、浮葉植物、沈水植物が生育し⁽⁹⁾、水生植物植被率は26%～30%となった。親水空間としても良好で、市民と旅行者にとって格好の憩い、レジャー、観光の場となっており、五里湖周辺の地価は値上がりしている。本事業の場合、事業終了後も管理機関として蠡湖管理弁公室をおき、良好な管理が行われた事により、2008年上半期にはT-NもⅣ～Ⅴ類になり、水質の改善が認められる。さらに、姜等〔2011〕は2009年の水質状況について、COD_{Mn}、T-NおよびT-Pがそれぞれ年平均で4.5、1.34および0.06ミリグラム／リットルであり、COD_{Mn}とT-PがⅢ類基準を、T-NがⅣ類基準をそれぞれ満足し、透視度も80センチメートル程度と継続的な水質改善傾向がみられることを紹介している。

(2) 生態系修復事業の課題

太湖の水環境保全計画の大きな特徴は、水質改善を推進した結果として付随的に現れる生態系の保全、あるいは保全・回復された生態系の拡張というように生態系を水環境改善の成果指標として単にとらえるだけでなく、生態系修復と水質改善の相互作用に注目し、人為的かつ積極的な生態系修復事業が保全事業のなかに大きく位置づけられ、推進されているということである。このような事業推進により、内部負荷の低減を図り、旧来の生態系の回復と水質改善の両立を目標としたものである。湖沼生態系の複雑さを考えれば水質と生態系の関係は一義的に定義できず、その評価の難しさは容易に想像できる。『太湖無錫地区水資源保護和水污染防治』（王主編〔2009〕）でも科学的知見の集積、長期間にわたる評価、事業の適正な管理の重要性が示されている。

たしかに、五里湖は無錫市から太湖への下流側に位置し、汚濁負荷の影響を強く受ける状況にあり、また、湖岸は水産養殖池として使われていたため、水質汚濁が激しく進行して、無錫市民にとっては太湖の水質汚濁を感じる身近で象徴的な水域であったに違いない。したがって、この水域に特定した生態系修復事業の実施は、九五計画から主張されている水質改善と生態系修復

の積極的なリンク論の実証ばかりでなく、太湖全域では水環境改善効果の発現に長期間を有することを見越したうえでのデモンストレーション的な要素を考慮したものと考えられる。また、この事業では湖岸の緑地整備が進められ、親水機能の向上により近隣地域のウォーターフロントとしての不動産価値を高めていると考えられる。したがって、五里湖における生態系修復事業は水環境改善と市場経済の両立を示した事例ととらえることも可能であるが、事業にともなって移転させられた五里湖周辺部に居住していた住民の問題など、いわゆる「負」の部分を検討した評価も必要である。

技術的には、仮に上述したリンク論が正しく、かつ五里湖への流入が水門により遮断できるとしても、降雨時に近隣する都市街区からの表面流出による流入を防ぐことはきわめて困難である。したがって、単純ではないが、栄養塩濃度を一定に保とうとすれば湖内の水生植物などのバイオマス量が増加し、これらの腐敗の問題など、健全な生態系とはいえない事態の惹起が予想される。したがって、バイオマス量の管理、具体的には水生植物などの除去といった人為的な管理は必要となる。五里湖の場合は、事業が非常に象徴的であること、市街地の親水空間の創造や周辺の不動産開発などの付加価値の大きさから、この管理の問題に一定の解決を与えていると考えられる。しかしながら太湖全域に事業を展開するうえでは、事業終了後の管理費用について検討する必要がある。

すなわち、生態系修復といった事業は短期間に評価可能なものではなく、長期間にわたるモニタリングと多様な評価軸による検討が必要となる。

第5節 総体方案の課題と展望

1. 十一五計画期間の無錫市における事業成果と課題

総体方案は変則的に2008～2012年の計画期間となっているが、無錫市のよ

うな事業を行うべき現場において、事業主体となるべき地方政府にとっては予算編成上、変則的な総体方案期間ではなく、国の5カ年計画に対応した計画期間での予算編成が必要になり、その場合は予算獲得の根拠となる、総体方案を上位のガイドラインとした具体的な内容が示された計画が必要になると考えられる。

無錫市では、無錫市發展和改革委員会と無錫市太湖水污染防治弁公室が2011年11月に「無錫市“十二五”太湖水環境治理專項規劃」（以下、無錫十二五計画）を公示した。構成および内容は基本的に総体方案に即したものであり、無錫市が総体方案に沿った実際の事業を行ううえでの計画書と考えることができる⁽¹⁰⁾。

無錫十二五計画では2006年～2010年の十一五計画期間における成果とそれをふまえた十二五計画期間の課題が示されており、以下にその内容を整理した。まず、十一五計画期間で得られた成果を表6にまとめる。

内容としては、これまで述べてきた具体的な事業が鋭意推進されているように見える。水道供給については、長江への依存度を増していることが示されている。また、農村地域の分散型生活排水処理に関して多数の処理施設がすでに建設されており、上述した課題の解決が急務と考えられる。また、特筆すべきは「監視と警戒」の項で、86カ所の水質自動観測所、13カ所の藻類画像システムを設置し、さらに工業排水のオンライン監視を強化した点であり、行政として対策事業の実効性担保への強い取り組みがみられ、これらの内容は総体方案で強調された部分である。

つぎに十一五計画期間の成果をふまえた十二五計画期間における水環境保全事業の課題を以下のようにまとめている。

①工業構造の調整

計画期間中に立ち遅れた生産能力を淘汰し、環境保護面の参入基準を引き上げ、新興産業を育てるなど、多数の施策を講じたが、全体として紡績捺染、化学、冶金などの従来産業がいまだに主流を占めており、規模が小さく、立

表6 十一五計画期間における水質保全事業の概要

対策項目	事業成果概要
水供給の保障	<ul style="list-style-type: none"> ・長江第二水源地を建設し、水供給能力が80万 t/日に達した。 ・郷と鎮の水道網120km の改造工事を完了した。
面源汚染対策	<ul style="list-style-type: none"> ・農村分散生活污水处理施設を2,000余り建設し、2,777の自然村の生活污水を有効に処理した。 ・畜禽養殖廃棄物の処理利用施設を142カ所で建設した。 ・総面積約58万 m²のエコ用水路を建設した。
汚染源の抑制	<ul style="list-style-type: none"> ・污水处理能力25万 t/日を増強した。 ・68の下水処理場を建設し処理能力が200万 t/日を超えた。 ・下水道4,000km 余りを新しく敷設し、下水道網の全長が7,366km に達した。 ・都市下水集中処理率が90%に達した。 ・全市で4つの主要な生活ゴミ処理場、97の生活ゴミ圧縮収集所が建設され、生活ゴミ処理能力が174万 t/年、焼却能力が128万 t/年、埋め立て能力が46万 t/年になった（2010年全市生活ゴミ発生量は169万 t、焼却量は143万 t、埋め立て量は26万 t）。
浚渫と水量調整	<ul style="list-style-type: none"> ・浚渫面積52.52km²、浚渫量1,356m³を達成した。 ・累計で51億6,000万 m³を取水した（太湖の水位が2.99m/時の容積は44億2,300万 m³、水位4.65m/時の容積は83億 m³）。
藍藻処理	<ul style="list-style-type: none"> ・7つの藻水分離所を建設し、処理能力が9,000t/日に達した。 ・2007年以降累計で210.5万 tの藍藻をすくい取り、水中から562.1万 tの窒素と140.5tのリンを取り除いた。藻汚泥資源化利用能力200t/日を形成した。
河道整備	<ul style="list-style-type: none"> ・全市の1,284本の河道で「河長制」管理を実施し、3年で湖沿岸地区の376の污水排出口、市街地の企業533社の污水遮断目標を達成し、17の河道の「河川浄化活動」を基本的に完了した。 ・25.2kmを整備し、42.1万 m³を浚渫し、新規護岸工事14.05km、護岸修復工事10.53kmを実施した。
監視と警戒	<ul style="list-style-type: none"> ・86の水質自動観測所（15の湖内浮動観測点を含む）を建設し、湖に21の藍藻巡視ポイントを設け、沿岸に13の藍藻画像監視システムを構築した。 ・国、省、市指定の重点汚染源339社に360台（セット）のオンライン監視装置を設置した。

（出所）「無錫市“十二五”太湖水環境治理專項規劃」より筆者作成。

地が分散しているなどの構造上の問題が残されている。湖へ流入する河川沿岸に多数の小規模メーカーが存在し、一部のメーカーでは技術的な更新が遅れ、生産工程や排水処理の運営と管理が不適切で、汚染防止と排出削減の効果が不十分なままである。

②汚染源の抑制強化

汚染対策の責任主体が不明瞭で、資金が不足し、運営管理メカニズムが不完全なため、農村の生活污水处理について処理率が計画目標に届いていない。船舶輸送汚染が重視されておらず、船舶が油水分離装置を備えてはいるものの生活排水、バラスト排水、生活ゴミの処理は遅れている。下水処理場では処理技術および運転管理の不備から、一部で処理基準が達成されていない。また、一部の下水管路網は漏水率が高く、保守技術の向上と管理体制の整備が必要である。市街地の拡張に対応した下水道整備が追いつかず、部分的には生活排水を堰のようなもので貯留する臨時的な処置がとられているが、分流式下水管路網の整備推進が必要である。

③水質観測監視体制の改善

水質観測監視体制が十分でなく、緊急時の対処能力が薄弱である。法を遵守しない企業が存在し、環境の法律違反を取り締まる手段が限られている。監督と管理の力が弱く、企業の無登記排出、濃度超過排出、総量超過排出がときおり発生している。依然として「遵法は高コスト、取り締まりは高コスト、違法は低コスト」の風潮がある。

④技術サポートの強化

水環境保全対策には複合した科学領域が関係しており内容が複雑で、総合的な技術レベルが要求される。とくに汚泥処理、栄養塩除去、資源としての循環再利用などは高い技術力が必要な事業である。生態系修復工事には明確な技術ガイドラインがなく、体系化されておらず、また、それらを取り巻く外部の生態系とのつながりが考慮されていないために効果が限定されている。

⑤資金保障

十一五計画期間の大部分の対策事業が終了し、運用が開始されるにつれて、一部事業の運用資金の問題が浮上してきた。たとえば、長江からの取水、湿地回復、排水処理における栄養塩除去などの事業は、事後に継続的な運用資金の投入が必要であり、とくに農村面源汚染対策に関係した事業や村の生活污水处理施設が郷鎮や村の財政の大きな負担になっている。

⑥事業の監督と管理

計画期間の対策事業評価によると、立案と申請過程での検証と審査、事業実施過程での適切な人員研修、組織管理、設備の配備、運用開始後の保守管理などに不備がみられる事業があり、十分な費用対効果が得られるように、すべての過程で監督と管理を強化する必要がある。

2. 総体方案の課題と展望

無錫市における具体的な事業事例でも示されたように、九五計画から十五計画を経て重点化が図られてきた事業場排水や生活排水の対策は今後、量から質の担保が重要となる。これに対して総体方案では、モニタリングなど監視体制の強化が示されている。工業排水については、産業構造調整により工場の集約化が図られており、モニタリングの自動化によりレベルの高い排水管理が達成できると思われる。しかしながら、急速なインフラ整備の進んだ生活排水処理では処理施設の小規模化が進んでおり、運転管理要員の量と質の確保が重要な課題となる。また、都市の大規模な処理施設であれば、処理水質の自動化されたモニタリングも可能となるが、今後、郷鎮から村レベルで整備が計画されている小規模な処理施設のすべてで同様なモニタリングを実施することは難しいと考えられる。したがって、定期的な処理水質の測定体制を構築する必要がある。また、運転管理についても個々の処理施設に要員を貼り付けるのには、施設当たりの人件費負担が大きくなるので、日本で導入されている浄化槽管理者制度のような、運転管理に市場原理が働き、一定地域内でのビジネスが可能になるような管理体制の構築が必要となる。また、単に事業者間の競争に任せるのではなく、日本で存在するような地域の管理者を束ね、管理者の再教育を担う、水質保全協会のような組織の育成も重要であり、初期においては質と量の確保を目的とした公的な取り組みと資金的な援助が必要である。

点源対策について、九五計画から総体方案に至る中心的な課題は、処理イ

ンフラの整備と監視体制の確保であったが、今後は整備されたインフラの「管理」が重要である。とくに公共事業の性格が強い生活排水処理では、その整備が地方へ向かえば向かうほど、適正な運転管理費の徴収あるいは管理主体の明確化など、整備されたインフラの持続的な運用に関する課題を整理していく必要がある。

一方、農村面源対策では、総体方案において農業の大規模集約化による汚濁負荷削減の効率化が提唱されている。とくに畜産では大規模化により経済性も高まり、排水の管理も旧来の個別農家単位での飼育と比べれば圧倒的に効率的となる。つまり、汚染源の集約・点源化と考えられるが、それに見合った処理技術の適用が課題となる。一般的に畜産排水処理は生活排水処理と比べれば難しく、技術開発や技術実装と運転管理レベルの向上を同時に図っていく必要がある。もし、この2点が不十分な場合は、大規模集約化が目的に反して、その負荷発生割合の大きさから重大な発生源となることは容易に予想され、今後の注視が必要である。

総体方案によると、2008年から2012年までに585億元、さらに2020年までに565億元の投資が計画されている。前述した「無錫市“十二五”太湖水環境治理專項規劃」は計画期間が2011年から2015年となるが、事業全体で733億元の投資が計画されている。表7に主要な事業別の計画投資額を示す。

総体方案では2008年から2012年を「近期」(短期)、つまり総体方案としての5カ年計画期間および2013～2020年を「遠期」(長期)としている。計画された事業投資額は短期および長期をあわせて、1051億元であり、無錫市の位置する江蘇省全体では583億元であった。しかしながら2015年までの十二五計画期間では無錫市だけで733億元の投資が計画されており、総体方案策定時点の江蘇省の計画額を超えている。無錫市で投資予定額が多いのは「下水処理・都市ゴミ」「浚渫・導水」および「湖浜帯・生態系修復」であり、総体方案策定時と比べて各事業、とくに土木工事をともなう項目について予定額が上昇していると考えられる。一方、同じく、「無錫市“十二五”太湖水環境治理專項規劃」では、このような膨大な予算の確保に向けて、保障措

表7 総体方案および無錫十二五計画による主要事業別の計画投資額

(単位: 億元)

		総体方案		無錫市十二五計画 (2011~2015)
		流域全体	江蘇省	
下水処理・都市ゴミ	2008~2012	232.3	138.2	139.7
	2013~2020	35.2	44.6	
工業排水処理	2008~2012	35.2	20.4	40.2
	2013~2020	1	0	
湖浜帯・生態系修復	2008~2012	49.1	33.3	201.4
	2013~2020	116.7	80	
浚渫・導水	2008~2012	108.9	48.5	215.8
	2013~2020	206	97.5	
農業面源	2008~2012	49.9	21.1	19.8
	2013~2020	48.9	27.2	
飲用水の安全	2008~2012	87.4	35.2	85.7
	2013~2020	35.2	2	
環境管理能力	2008~2012	7.9	3.4	7.4
	2013~2020	0	0	
その他	2008~2012	14.7	11	23
	2013~2020	22.9	20.4	
合計	2008~2012	585.4	311.1	733
	2013~2020	465.9	271.7	

(出所)「無錫市“十二五”太湖水環境治理専門規劃」および総体方案より筆者作成。

置と政策提案のなかで、資金面の保障として以下のように提言している。

「資金調達ルートを開拓して『政府誘導，企業主導，市場運営』の多元化資金調達メカニズムを確立する。国の予算支出，企業の自己資金，地方財政，銀行借入，民間資金，外資などの手段を通じて広く資金を調達し，民間の参加と太湖水環境総合汚染対策に対する積極性を十分に引き出して各事業が順調に実施できるようにする」。

「積極的に中央，省の予算および各太湖汚染対策特別予算を申請し，最大限に国と省の資金援助を受ける。とくに中央の太湖水環境保全対策予算，省政府の太湖流域水環境保全対策特別予算および国の『十二五計画特別資

金の予算』を申請する」。

今後、現在の中国のようなインフレ経済化では事業費の高騰は避けられず、予定額と必要額の乖離も大きくなると考えられ、事業推進の根幹である資金面についても実態を注視していく必要がある。

おわりに

本章では総体方案に示された水環境改善対策事業の具体的な内容に関連して、無錫市の事例を取り上げ、同市のこれまでの取り組みの総括をふまえた具体的な対策を示した『太湖無錫地区水資源保護和水污染防治』（王主編[2009]）をもとに整理した。水環境保全事業は、その成果を得るため、あるいは得られた成果を維持するためには長い時間が必要である。したがって、このような具体的な対策の検討は、単に具体的な内容を整理するだけでなく、排水処理施設のような整備されたインフラの持続的な運用に関する課題を、行政や住民の役割といった視点から整理していく必要がある。また、農村面源対策では、負荷削減を担う農業従事者のキャパシティービルディングは対策の実効性を担保するうえで大きな課題となる。さらに、さまざまな対策の「監視」に対する住民の参加のあり方も整理する必要がある。このような整理・検討を行ううえで、水環境保全に対する具体的な事業内容の整理は必須である。本章では無錫市を事例として、主要な保全事業に対して具体的な内容を議論してきており、その結果として対策をめぐる政府と事業者および住民とのかかわりに関する知見を得ることができた。このことは、今後、実効性を担保した流域ガバナンス論を展開していくうえで、非常に有用な論点を与えるものと考えられる。

工業対策では、2008年に制定された江蘇省上乘せ基準による排水基準の遵守を強化し、さらなる処理をめざして排水基準のさらに厳しい下水処理場で

の処理を計画している。また、汚濁負荷の大きい工場を集め、集中的な処理を行い、排水基準が未達成な工場に対して、時限を切った操業停止も予定されている。

つぎに、都市生活対策の中心となる下水道整備については、新規の下水処理場建設と収集管路網の整備を同時進行で進め、下水処理場の排水基準には中国においてもっとも厳しい基準である1級A基準を当てはめる。この基準は、日本の下水道排水基準と比べても厳しい内容となっている。また、既設の4分の1の処理場は窒素およびリンを除去可能な高度処理型ではないため、これらの高度処理型への改築を進め、地域状況によっては小規模な畜産排水や工業排水などを受け入れ可能な設計を行うとされている。さらに、都市からの初期降雨流出負荷対策、日本でいわれている合流改善ではなく、分流式下水道において、流出負荷対策をとることも検討されている。

一方、流域における汚濁負荷発生量に占める割合の大きい農村面源対策では、大規模農業化への構造転換を図り、作付転換などによる施肥管理や用水管理（節水）、農地からの流出水の処理が計画されている。また、有機農業や農業副産物の循環利用による負荷削減も示されている。畜産では大規模化を図り、小さく分散した負荷源の大規模集約化を図ることで、工場のような点源として扱い、処理を強化する方針が強く示されている。このような農村面源対策に係る手法は、十五計画期間中に宜興市大浦鎮で実施されたモデル事業の経験を経たもので、この事業において良好な成果が得られたとして、8つの抑制区を制定して、それぞれにおいて事業の監督・管理に責任を負う体制が計画されている。

ここで整理した無錫市における具体的な対策事業は、総体方案の内容と一致しているが、とりわけ農村面源対策では、総体方案に示された事業項目は上述した無錫市におけるモデル事業の成果が反映されていると考えられる。とくに農村面源対策に関しては、日本の指定湖沼における水環境保全計画の内容よりフィージビリティのあるさまざまな事業が計画されており、今後の成果報告を整理することにより、日本の水環境保全事業へのフィードバック

が期待される。

太湖の水環境保全計画の特徴のひとつとして、生態系修復が挙げられる。九五計画の時点から生態系修復を水環境保全事業のひとつの柱と据え、水環境修復指標としてきた。太湖における生態系修復の考え方は、単に水質改善の結果としての生態系修復ではなく、あるべき生態系を目標として人為的な誘導を行い、これによりさらに水質改善を図るといった、生態系修復と水質改善を車の両輪に見立てた戦略を有している。十五計画期間中に大規模な研究予算が投じられ、五里湖において実証試験が行われ、長期間にわたる安定性の評価はこれからとして、有用な成果が得られているものと考えられる。

〔注〕

- (1) 一般的に点源とは、事業場からの排水や生活排水など、排出口からの排出がイメージされる排出源であり、排出規制と規制に対応した処理施設の建設あるいは設置がおもな対策となる。
- (2) 一般的に面源とは、降雨にともなう農地、林地や道路からの汚濁物質の流出などであり、発生源として点源と対をなす。しかしながら中国では、第2章の「はじめに」で示しているように、農地や林地からの流出に加えて、本来は点源として分類される畜産排水や生活排水など、農業活動および農村生活に関連した排出源を含めて農村面源としているため、本章においてもその分類に従う。
- (3) 中国では河川、湖沼の地表水および海水に対して利用目的に応じて水質分類が示され、それぞれの水質基準がBOD、アンモニア性窒素などの水質項目について示されている。地表水はⅠ類からⅤ類に分類され、それぞれの利用目的が示されており、考え方としては日本における水質環境基準における「類型」と同様である。
 - Ⅰ類：おもに源流の水、国家自然保護区に適用。
 - Ⅱ類：おもに一級保護区の集中型生活飲用水の水源、貴重な魚類保護区、魚類エビの産卵場などに適用する。
 - Ⅲ類：おもに二級保護区の集中型生活飲用水の水源、一般の魚類保護区および水泳区に適用する。
 - Ⅳ類：おもに一般の工業用水区及および人に直接接触しない娛樂用水区に適用する。
 - Ⅴ類：おもに農業用水区および一般の景観に必要な水域に適用する。

ここで、水道利用を目的とする場合はⅢ類以上の水質が必要となり、Ⅲ類達成が水環境保全事業の目標となる場合が多い。

- (4) なお、日本の下水道事業における高度処理率は20%程度である。中国の高度処理への取り組みは下水道事業のひとつの特徴といえることができ、とくに富栄養化対策が大きな位置を占めていると考えられる。
- (5) 2009年6月無錫市での現地調査。
- (6) 散水濾床と人工湿地を組み合わせた施設の処理規模は69家庭であり、1日当たり40立方メートル程度と推測される。建設費は39万元と表示されていたが、排水収集に係る管路敷設費を含んだものと思われる。接触ばっき法による施設の処理規模は20家庭であり、1日当たり15立方メートル程度と推測される。建設費は25万元と表示されていた。いずれのモデル事業も管轄は宜興市営林局であった。
- (7) COD_{Mn} は酸化剤として過マンガン酸カリウムを用いる指数であり、日本では一般的ではないが過マンガン酸塩指数と表記されることもある。
- (8) 処理の原理はコンポストを生産する場合と同一であり、おがくずはコンポストへ変換される。発酵作用を強化する為に微生物製剤を添加する場合もある。
- (9) 挺水植物はアシ、ガマなど、浮葉植物はスイレン、ハナジュンサイ、ガガブタなど、沈水植物はササバモ、オオフサモ、エビモ、クロモ、セキシヨウモなど。
- (10) 十五計画は2005年に終了しており、その後継の計画は変則的に2008年開始となっているものの、2006年から2007年にかけて事業が停止していたわけではなく、総体方案の基盤となった計画をふまえた事業が進められていたと考えられる。

〔参考文献〕

<日本語文献>

- 水落元之「2009」「中国の水環境の現状と日本からの技術協力支援」(『グローバルネット』225号 18-19ページ)。
- 「2010a」「相互協力という新たな流れ——人工湿地法を用いた中国における技術協力」(『月刊下水道』第33巻第2号 61-65ページ)。
- 「2010b」「太湖流域の水環境保全計画の展開と課題」(大塚健司編『中国の水環境保全とガバナンス——太湖流域における制度構築に向けて』研究双書 No. 588 アジア経済研究所 35-79ページ)。

- [2011]「太湖流域水環境保全計画の事業と対策——無錫市の事例を中心に」
(大塚健司編「中国における流域の環境保全・再生に向けたガバナンス——
太湖流域へのアプローチ」調査研究報告書 アジア経済研究所 1-29ページ,
http://www.ide.go.jp/Japanese/Publish/Download/Report/2010/pdf/2010_433_01.pdf, 2012年5月4日アクセス)。
- 水落元之・小柳秀明・久山哲雄 [2011]「中国の水環境および下水処理場の現況について」(『環境技術』第40巻第12号 746-750ページ)。
- 水落元之・小柳秀明・久山哲雄・岩崎宏和 [2009]「中国の農村地域における生活排水対策の重要性と日中協力」(『月刊下水道』第32巻第6号 59-63ページ)。
- 水落元之・王勤学・大場真 [2011]「東シナ海環境保全に向けた長江デルタ・陸域環境管理手法の開発に関する研究(3)①長江中下流域都市活動起源の栄養塩量の推定に関する研究」「環境研究総合推進費平成22年度研究成果——中間成果報告集」2011年8月 環境省総合環境政策局 675-678ページ)。
- 流域別下水道整備総合計画制度設計会議編 [2008]『平成20年度版流域別下水道整備総合計画調査指針と解説』日本下水道協会。

<中国語文献>

- 姜偉立・呉海鎮・辺博 [2011]「五里湖水環境治理経験対十二五治理的啓示」(『環境科技』2011年 第2期 62-64ページ)。
- 王鴻湧主編 [2009]『太湖無錫地区水資源保護和水污染防治』北京 中国水利水电出版社。
- 国家發展改革委員会「太湖流域水環境綜合治理總体方案」2008年4月 (<http://www.ndrc.gov.cn/dqjj/zhdt/P020080611378482712990.pdf>, 2010年7月7日アクセス)。
- 水利部太湖流域管理局 [2009]「太湖健康狀況報告2008」(http://www.tba.gov.cn:90/art/2009/6/19/art_725_9681.html, 2010年7月7日アクセス)。
- [2010]「太湖健康狀況報告2009」(http://www.tba.gov.cn:90/art/2010/9/29/art_725_33051.html, 2012年2月12日アクセス)。
- 太湖流域水資源保護局 [各年月]「太湖流域及東南諸河省界水体水資源質量狀況通報」1998年1月～2011年10月 (http://www.tba.gov.cn:90/art/2011/11/16/art_723_43423.html, 2012年2月12日アクセス)。
- 環境保護部 [2011a]「2010 中国 環境 狀況 公報」(<http://jcs.mep.gov.cn/hjzl/hjzl/zkgb/2010zkgb/>, 2011年9月26日アクセス)。
- [2011b]「2010年全国投運城鎮污水處理設施清單」2011年5月 (http://www.zhb.gov.cn/gkml/hbb/bgg/201104/t20110420_209449.htm, 2011年9月26日アクセス)。
- 江蘇省 [2010]「江蘇省太湖流域水環境綜合治理實施方案」。
- 無錫市發展和改革委員會・無錫市太湖水污染防治弁公室 [2011]「無錫市“十二五”

太湖水環境治理専門規劃」2011年11月。

<英語文献>

Qin, Boqiang, ed. [2008] *Lake Taihu, China: Dynamics and Environmental Change*,
Dordrecht: Springer.

<ウェブサイト>

(中国語サイト)

国家発展改革委員会 <http://www.sdpc.gov.cn/>

水利部太湖流域管理局 <http://www.tba.gov.cn/>

環境保護部 <http://www.mep.gov.cn/>

江蘇環保（江蘇省環境保護庁） <http://www.jshb.gov.cn/jshbw/>

無錫太湖明珠網 <http://www.thmz.com/>

(日本語サイト)

霞ヶ浦環境科学センター <http://www.kasumigaura.pref.ibaraki.jp/>

