

## 第 1 章

### 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—

水落 元之

要約：太湖流域水環境総合治理総体方案に示されている通り、太湖流域からの汚濁負荷発生量に占める農業面源の割合は、COD 45%、T-N 51%および T-P 68%と大きな割合を占め、農業面源対策の重要性は明らかである。太湖流域を含む長江デルタ経済圏における同様な検討でも農業面源からの発生量は全体の 50%程度を占めており、特に畜産からの排出が大きく、太湖流域においても農業面源のうち畜産排水の重要性が推察された。無錫市を事例として、それぞれの対策事業の具体的な内容について、事業展開の根拠となっていると考えられる研究成果をもとに技術的な側面を中心に整理した。工業や都市生活における対策では汚染企業を集約して排水の一括処理を進めること、排水基準遵守の厳格化、排水基準の引き上げおよび下水道普及率の向上および初期降雨出水の下水処理場への導入などが挙げられる。農業面源対策では、農業の集約化を通して汚染管理の効率化を図り、無錫市においては農業地域を 8 箇所の管理区に分けて対策事業を推進する計画である。そのもとで具体的には、農地への化学肥料投入量の管理、農地からの流出水に対して側溝や流出水が流入する小河川での直接的浄化の推進、畜産についてはゼロエミッション型の飼育手法等の普及が図られている。また、太湖では湖の生態系の修復にも力が入れている。太湖では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、今後の事業展開に有用な成果が得られている。

キーワード：太湖、水質保全計画、点源対策、面源対策、汚濁負荷削減

#### はじめに

太湖は、中国第三の湖であり、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最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（九五計画：1996～2000 年）、

太湖水污染防治「十五」計画（十五計画：2001～2005 年）が実施された<sup>1</sup>。続いて 5 ヶ年計画が策定されたが、2007 年のアオコ異常増殖による無錫市の水道供給停止事件を受けて、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」（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～十五計画～総体方案の内容を見ていくと、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置きながら、その他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てきたと考えられる（水落[2010]）。総体方案にはこのような経験を受けて、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見られる内容と考えられる。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。ここで、前報（水落[2010]）において総体方案の概要と特徴は報告しているが、本報告ではそれぞれの発生源における対策事業の具体的な内容を検討するために、まず、総体方案に示された計画基準年（2005 年）における各発生源からの汚濁負荷発生量および対策事業項目について再度整理し、総体方案に沿って実際の事業を実施する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をもとにして、総体方案に示された事業要素について具体的な内容について技術的な側面を中心に概説する。

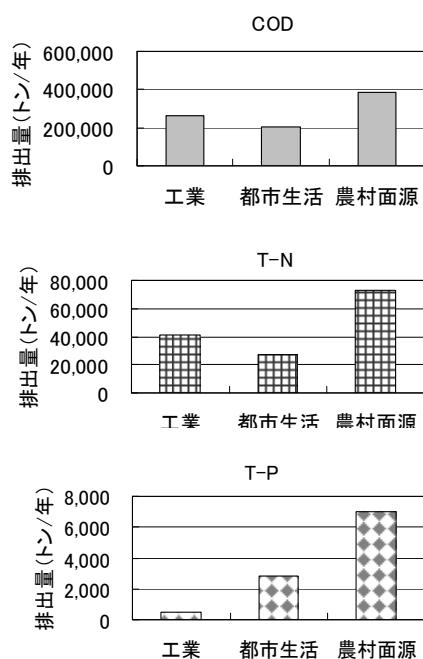
## 第 1 節 太湖流域における汚濁発生負荷量の内訳

現在、実施している水質保全計画である総体方案では、水質目標あるいは汚濁負荷削減目標を算定する上での基準（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）14.2 万トン、T-P（総リン） 1.03 万トンであった。図 1 に COD、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、図 2 にそれぞれの割合を示す。

---

<sup>1</sup> 九五計画については国家環境保護総局[2000]を、十五計画については国家環境保護総局[2004]を参照。

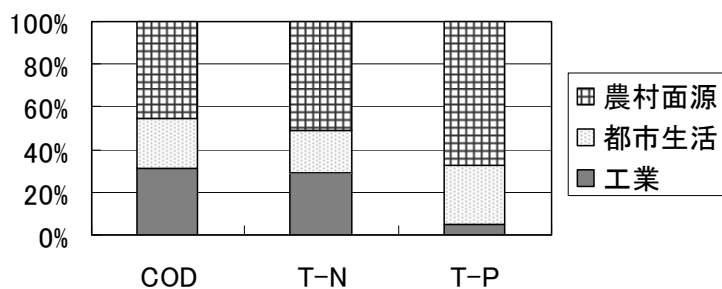
図 1 太湖流域からの発生源別汚濁負荷発生量(2005 年)



(出所) 総体方案より筆者が加工

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、T-P における農業面源の割合がかなり大きくなっている。一方、過去 2 回の水質保全計画である 1996 年から 2000 年に実施した太湖水污染防治「九五」計画（九五計画）および 2001 年から 2005 年に実施した太湖水污染防治「十五」計画（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業面源の面源対策へ、その重要性がシフトしていることが明らかである。

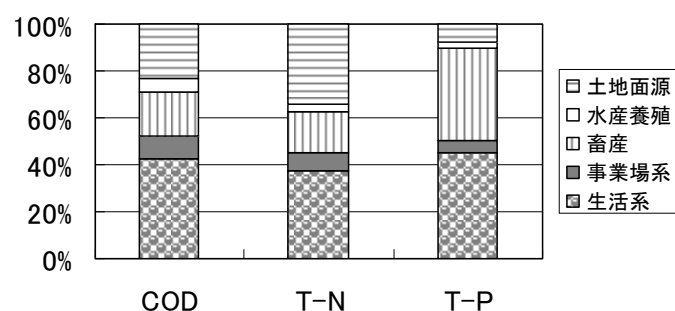
図 2 太湖流域における汚濁物質別の発生源割合(2005 年)



(出所) 総体方案より筆者が加工

農業面源の主要な内訳は概ね、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。総体方案には農業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 の発生負荷量を、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（村上ほか [2010]）。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」は降雨に伴う都市の道路等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「農業面源」に含まれている。図 3 に COD、T-N、T-P 負荷発生量の発生源毎の割合を示す。

図 3 長江デルタ経済圏における汚濁物質別の発生源割合(2008 年)



(出所) 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)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 21 年度研究成果－中間成果報告集－

これらの負荷発生量は、日本における平成 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[2008]）に示された流域における汚濁負荷発生量推計手法を用いて、原単位法により推計を行った。総体方案に示された負荷発生量の推定方法は示されていないが、原単位法による推計は極めて一般的な手法であることから、同様な手法に拠ったものと類推される。

この推計による長江デルタ地域からの COD、T-N、T-P 負荷発生量は、2008 年でそれぞれ 312 万トン、55.5 万トンおよび 8.5 万トンであった。ここでは、総体方案に示された負荷発生量推計に係る前提条件等が不明なため、総体方案に示された太湖流域における負荷発生量との比較検討は行わないが、図 3 に示したように生活排水を除く農業面源の割合は、COD、T-N、T-P それぞれで、48、54 および 50%となり、農村地域での生活排水からの負荷を加えれば、太湖流域と似たような傾向となる。いずれにしる農業面源からの負

荷割合が大きく、当該分野での対策が重要であることが分かる。ここで、農業面源における内訳を見ると、T・Pにおける畜産の割合が39%と高く、太湖ではリンがアオコ増殖の制限因子と考えられてきたことから、生活排水とともに対策を実施する上で重要なターゲットと考えられる。

ここでは、推計手法は違うものの総体方案に示された太湖流域からの汚濁負荷発生量（2005年）と、筆者らが日本国内で一般的な手法で推計した長江デルタ地域における同様な発生量（2008年）を示した。推計手法および推計年度が同一ではないため、定量的な比較検討は出来ないが、負荷割合からは、農業面源対策の重要性が示唆され、特にリンを削減する上で畜産対策の重要性が示されている。

## 第2節 水環境保全計画の事業概要

太湖流域では九五計画以来、工業排水および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業面源対策、および生態系修復を保全対策の基本とし、九五および十五計画は点源対策に重きを置きながら、総体方案では点源対策から農業面源対策に重点を移しつつあると考えられる。また、第三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[2010]。表1に総体方案に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、それにもとづき、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。農業面源では、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置いていることが主な内容となっている。

表 1 総体方案に示された各発生源における対策項目

負荷量削減 対策	工業	<input type="checkbox"/> 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 <input type="checkbox"/> 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 <input type="checkbox"/> 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 <input type="checkbox"/> 排出基準の強化
	都市生活	<input type="checkbox"/> 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 <input type="checkbox"/> 処理場建設に対応した分流式下水管路整備の推進 <input type="checkbox"/> 有リン洗剤の禁止 <input type="checkbox"/> 都市下水処理場における汚泥無害化処理の推進 <input type="checkbox"/> 2012年の都市ゴミ処理率目標75% <input type="checkbox"/> ゴミ埋立場の管理強化と侵出水浸透防止策の推進 <input type="checkbox"/> 都市生活における節水の推進
	農業面源	<input type="checkbox"/> 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 <input type="checkbox"/> 作付の適正化を図り、施肥管理により化学肥料を削減 <input type="checkbox"/> 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 <input type="checkbox"/> 水産養殖の制限および環境低負荷型養殖技術の普及 <input type="checkbox"/> 施肥、農薬使用ガイドライン等の制定と指導 <input type="checkbox"/> 農業面源汚染および湿地観測所の建設 <input type="checkbox"/> 農業における節水の推進 <input type="checkbox"/> 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	生態修復	<input type="checkbox"/> 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 <input type="checkbox"/> 湖岸および河岸の改造 <input type="checkbox"/> 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	<input type="checkbox"/> 導水事業の推進 <input type="checkbox"/> 杭州湾への出水能力の強化 <input type="checkbox"/> 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	<input type="checkbox"/> 飲用水源地の保護および代替水源地の確保
	実効性確保	<input type="checkbox"/> 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 <input type="checkbox"/> 技術開発

（出所）総体方案より筆者が加工

### 第3節 無錫市における具体的事業内容

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。本報では、流域人口、GDPともに太湖流域全体の15%程度を占める、無錫市における具体的な対策事業の内容について『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

表1に示したように、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の方向性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

工業対策として『太湖無錫地区水資源保護和水污染防治』には以下に示す主要項目が対策事業の柱として示されている。

- 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を踏まえたものとなっている。それぞれの項目について、その概要を示す。

- 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
  - ・工業汚染源の基礎データを把握し、汚濁物質削減施策の決定と効率的な排出監督に供する。

- ・クリーナープロダクションを全面的に推進し、「低消費、低排出、ハイテク、高効率」のハイテク産業の振興に力を入れ、省エネ・省資源、高効率な産業体系の形成を急ぐ。
- ・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、代替原料を選択する。
- ・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目指す。
- ・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伴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、可能な限り流入する排水の濃度を引き下げる。
- ・排水が排出される全ての工場において排水量をモニターし、モニター頻度を増加させる事により監視を強化するが、将来的には自動化を推進する。
- ・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。

## ②排出基準を引き上げ、より厳しい排出規制の実行

- ・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、更に「地表水環境基準 GB3838-2002」V類まで引き上げることを目標とする。表 2 および 3 にそれぞれの基準値を示す。
- ・工業排水を業種別に最適な前処理を施し、下水道における排水受入水質基準を満たしてから下水処理場に送る。
- ・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。

## ③工業汚染の末端処理を厳格に実施

- ・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」(表 4)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 標準値よりも高いため、上記②に示した考えにより、それぞれの工場からの処理水を、更に都市下水処理場に送って集中的に処理をしなければならない。このうちメッキ、化学、捺染等の工業排水は初期処理をし、下水受入基準を満たすことを徹底する。また、当該工場の生活排水は都市下水処理場に送って処理しなければならない。
- ・給水能力が 1 日に 1 万トン以上の浄水場の排水は、全て段階的に処理を行う。排水処理に伴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。



表 2 中国の下水処理場に対する排水水質基準

水質項目	一級基準		二級基準	三級基準
	A基準	B基準		
COD	50	60	100	120
BOD	10	20	30	60
SS	10	20	30	50
動植物油	1	3	5	20
石油類	1	3	5	15
陽イオン表面活性剤	0.5	1	2	5
総窒素	15	20	---	---
アンモニア性窒素	5(8)	8(15)	25(30)	---
総リン	0.5	1	3	5
色度(希釈倍率)	30	30	40	50
pH	6~9			
糞便性大腸菌(個/L)	1,000	10,000	10,000	---

(出所) 城鎮污水处理場污染物排放標準 (GB18919-2002)

表 3 中国における水質環境基準(関連項目のみ 単位:mg/L)

	I 類	II 類	III 類	IV 類	V 類
過マンガン酸塩指数(CODMn)	2	4	8	10	15
総りん(T-P)	0.002	0.01	0.025	0.06	0.12
総窒素(T-N)	0.04	0.15	0.3	0.7	1.2
クロロフィルa(Chl-a)	0.001	0.004	0.01	0.03	0.065

(出所) 地表水環境質量標準 (GB3838-2002)

表 4 2008 年 1 月 1 日より実施された江蘇省の下水処理場および重点工業排水に対する排水上乗せ基準(括弧内は国のもっと厳しい基準値)

工業分類	業種	COD <sub>Cr</sub>	NH <sub>3</sub> -N	T-N	T-P
紡績		60(100)	5(15)	15	0.5
化学工業	石油化学	60 (60)	5 (15)	15	0.5
	アンモニア合成	60 (100)	20 (40)	15	0.5
	その他	80 (100)	5 (15)	25	0.5
製紙工業	紙パルプ	80 (100)	5	15	0.5
	古紙	100 (150)	5	15	0.5
鉄鋼工業		80 (100)	5 (15)	15	0.5
メッキ工業		80 (100)	5 (15)	15	0.5
食品工業	味精	80 (200)	5 (50)	15	0.5
	ビール	80 (80)	5 (15)	15	0.5 (3)
下水処理場		50 (50)	5 (5)	15 (15)	0.5 (0.5)

(出所) 太湖地区城鎮污水处理廠及重点工業行業主要污染物排放限值 (江蘇省地方標準 DB/T1072-2007)

- ・企業内部の工業排水処理施設の管理と監督を強化し、監視の目を盗んだ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。
- ・社会全体、特に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良い。
- ・工業廃棄物の無害化処理と資源化総合利用を推進する。

#### ④既存工業汚染源の移転と工業団地への集約化

- ・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 年までに全て『四つの開発区、八つの工業団地』に移転させる。
- ・新規建設する規模が大きな工場は全て相応の開発区、工業団地に集める。
- ・全ての開発区、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。

#### ⑤一部の工業汚染企業を閉鎖

- ・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。

### (2) 都市生活対策

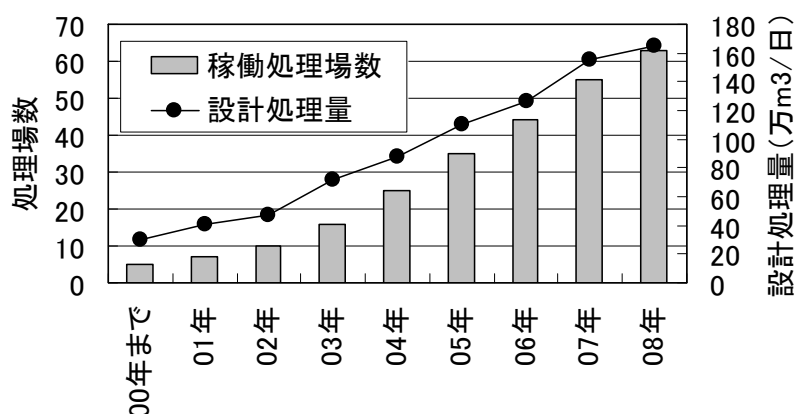
都市生活対策は、下水処理率の増加をねらった下水管路網の建設整備、管路網により収集された生活排水を処理する下水処理場の建設、改築および都市ゴミ処理場の建設に大別される。

中国環境保護部がまとめた 2008 年における都市下水処理場の設置状況報告（2008 年全国投運城鎮污水处理設施清單）（江蘇省環境保護庁・江蘇省質量技術監督局 [2007]）には、全国で稼働している処理場の所在、処理方法、稼働年、設計処理水量および実際の処理水量が示されている。

これによると無錫市では、2000 年以前の下水処理場数は僅かに 5 箇所であったが、2008 年末では 63 箇所が稼働しており、設計処理水量は 165 万トンであった。2008 年はそれぞれ稼働を開始した月が違うため、2007 年までに建設された処理場の 2008 年における処理実績は設計水量の 156 万トンに対して 105 万トンであり、約 70%となった。これらは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。図 4 に、無錫市の下水処理場について年度別の稼働数と設計処理水量を示す。

図 4 無錫市における下水処理場数と計画処理水量の変遷



(出所) 2008 年全国投運城鎮污水处理設施清單より筆者が加工

2000 年までは僅かに 5 箇所であった処理場稼働数が、2003 年から新規の稼働数が加わるようになり、2004 年からは年間 10 箇所程度の処理場が新規に稼働するようになった。また、設計処理水量は処理場の稼働数に応じて増加している。

2001 年から開始された十五計画は、その前の九五計画で下水処理場建設が計画の半分程度に留まったことを受けて、下水処理場の建設を重点課題としてあげており、これが 2003 年からの新規稼働数の増加に繋がったと考えられる。また、処理方式で見ると、2008 年末で稼働している 63 箇所の処理場のうち、28 箇所が下水からの窒素およびリン除去を目的とした高度処理方式を採用している。主な処理プロセスは、日本でも高度処理方式として一般的に用いられる、無酸素・好気活性汚泥法および嫌気・無酸素・好気活性汚泥法であった。

このように、無錫市では下水処理場の建設が順調に進み、処理率もそれに伴っ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、稼働している処理場の半分以上を占めており、下水道普及率の更なる増大を含めて、既存処理場の高度処理化が今後の課題である。工業対策と同様に生活排水対策として、『太湖無錫地区水資源保護和水污染防治』には対策事業の柱として以下に示す主要項目が示されている。

- ①都市下水処理場の新規建設の推進
- ②排水収集管網の整備の推進
- 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全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伴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にも反映されている。さらに、既存処理場の高度処理化あるいは畜産排水や工業排水の受入など多様な検討課題が示されている。それぞれの項目について、その概要を示す。

#### ①新規建設の推進

- ・2010 年までに、全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。

#### ②排水収集管網の整備の推進

- ・既存下水処理場の排水収集管網の整備を 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網は建設工事の進捗と並行して進める。

#### ③総合都市下水処理場の建設

- ・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・養殖排水の受入および処理を考慮する。

#### ④都市下水処理場の合理的な配置

- ・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。
- ・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、湿地を利用するのなどして、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。

⑤全ての都市下水処理場の排出基準を一級 A に引き上げる

- ・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。

⑥都市下水処理システムの管理と監督の強化

- ・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。

⑦自動化された監視の強化

- ・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、TN、TP、 $\text{NH}_4\text{-N}$  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。

⑧都市下水処理場の処理水の再生利用と高度処理

- ・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、洗浄水、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 1 級 A 以下の場合は、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。

⑨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

- ・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。

#### ⑩分流式下水道における降雨に伴う高濃度な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。

### 2. 非点源（農業面源）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、「1. 太湖流域における汚濁発生負荷量の内訳」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%以上は農業面源に起因している。両計画では共に農業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。十五計画では農業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業面源対策実施の難しさを垣間見ることができるが、総体方案では十五計画の 2.2 倍に当たる 50 億円の投資が計画されており、十五計画までのモデル事業等をベースとした事業展開が図られるものと考えられる。

点源対策と同様に『太湖無錫地区水資源保護和水污染防治』には以下に示す主要項目を対策事業の柱として示されている。無錫市における農業面源対策は、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る。また、関連する対策として、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言及されている。

#### （1）農地

農地における対策は、農地そのものからの排出抑制および農業用水路等における農地からの流出水の汚濁負荷削減に分けられ、以下のような項目が挙げられている。

- ①農業構造の調整
- ②窒素・リン農薬削減技術の開発・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、自然浄化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。これらの具体的な内容について以下に整理する。

#### ①農業構造の調整

- ・農業の集約化および大規模経営を実施する。
- ・作付け構造を調整し、さらに作付け方法を改良し、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。

#### ②窒素・リン農薬削減技術の開発・普及

- ・作付け制度と作付け構造を調整して化学肥料を削減する。例えば、水稻—小麦、水稻—緑肥、水稻—アブラナ科植物の輪作を行う。表5に太湖流域の農地に対する化学肥料（窒素・リン）の投入許容国家推奨値を示す。
- ・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、バイオ農薬や低毒低残留農薬を普及させて、減農薬技術を確立する。
- ・バイオ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。

表5 太湖流域の農地に対する化学肥料(窒素・リン)の投入許容国家推奨値

作物の種類		許容値(Kg/a)	
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
穀物	水稻	190	50
	小麦	160	65
野菜	露地	180	70
	ハウス	270	90
油糧	アブラナ	160	70
果樹	桃、ブドウ	240	80

(出所) 『太湖無錫地区水資源保護和水污染防治』

### ③節水型農業への転換

- ・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。

### ④農業副産物の減量化

- ・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。

### ⑤農地の緑化水路と緑化隔離帯の建設

- ・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。

### ⑥農地からの表流水を受け入れるプレダムの建設

- ・プ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するが、建設されたプレダムを用い、周囲の農地からの流出水、簡易処理した生活排水を受入れる。
- ・プレダムの機能は水質浄化に寄与する酸化池および多自然型の河道設計等による生態修復の機能をあわせ持つ。

### ⑦河川における自然護岸の建設

- ・農業地区内にある多くの河道に植物を植え、河道を充分に利用して生態系修復を行う。これは日本において行われている多自然型護岸の建設と同じ考え方である。

これらの対策は、十五計画期間内に科学技術部の大型研究予算を投入して、宜興市大浦鎮に 24km<sup>2</sup> のモデル地区を設定して行われた、農業面源からの汚濁負荷削減モデル事業をベースとしている。モデル事業の概要については後述するが、写真 1 に「緑化水路」および「プレダム」の様子を示す。



写真1 農業灌漑排水路における植栽を活用した浄化実験の様子(上)および太湖へ流入する河川の浄化施設(プレダム)(下):



(出所) 筆者が江蘇省宜興市郊外で撮影

(注) 左上が水路全体の様子、右上が植栽の様子（筆者が江蘇省宜興市郊外で撮影[2004年11月]）、左下が河川の一部にれきを充填する工事の様子(2004年11月)、右下が河川水の導入後の様子(2005年9月)。

写真からも分かるように緑化水路は側壁を多孔質にした排水溝に植栽を施し、 $T-N \cdot T-P$ の低減を狙ったものである。プレダムは太湖に流入する小河川の一部断面にれきを充填し、これにより河川の流れが阻害され、れき層の上流側で沈殿作用が生じる。河川水はれき層内を流れるために、れきの表面に付着した微生物による浄化作用を受け、さらに、れき層上部に施された植栽によっても浄化作用が生じる。なお、植栽は生態系修復への寄与も期待されている。

## (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事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）に大別されるが、以下のような具体的内容が示されている。

### ①規則の制定と措置

- ・ 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1kmおよび湖への主要な流入河道の下流10km、両側1kmの範囲、ならびにその他の重要区域を含む）。
- ・ 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1～5km）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 5km 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。

## ②排水および廃棄物の管理

- ・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汚水はプレダム、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、汚染物質は資源化利用を前提とした集中無害化処理をして汚染を抑制する。

上記の対策のうち、嘉興市における高床式発酵床の様子を写真 2 に示す。従来の飼育方法では家畜小屋の床に排泄された糞尿を物理的に排除していた。本法ではおがくず等を敷き詰めた上で、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。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。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、飼料の減量に繋がる。日本でも一部の豚畜産農家で採用されており、畜産を中心とした栄養塩循環システムの構築をねらった手法である。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るが、適正管理下では出血ならびに肺炎が少ない傾向が報告されている。また、豚が発酵床を食べ過ぎると、肥育状況が悪くなるとも報告されている（柳田[2004]）。床材料としてはおがくずだけではなく、剪定材の使用が報告されている（崎尾[2004]）。

写真 2 嘉興市郊外における高床式発酵床型豚舎の様子



(出所) 2009 年 9 月 大塚健司撮影

### (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、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安い自然処理が考えられおり、具体的には以下のような内容が示されている。

- ・ 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プ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、景観区を建設するか、養殖池を湖に戻す。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－湿地システムを構築する。

『太湖無錫地区水資源保護和水污染防治』には、中国水産科学研究院淡水漁業研究センターが、2008 年 7 月～11 月に実施した水産養殖汚水の人工湿地浄化・循環利用モデル事業についての概要が示されている。貢湖の湖岸に、総面積 3.2km<sup>2</sup> の試験養殖池を設け、養殖池の近くに水生植物を栽培した 1.2km<sup>2</sup> の人工湿地を建設し、各試験養殖池の汚水を人工湿地処理区に流し、浄化後に各養殖池に戻して養殖用水とするゼロエミッション手法が検討された。この結果、TN、TP、COD<sub>Mn</sub> がそれぞれ 54%、59%、42%削減された。この事業で得られた削減結果を表 6 に示す。

表 6 水産養殖汚水の人工湿地浄化・循環利用モデル事業の結果

測定指標		7月	8月	9月	10月	11月	平均
TN	処理前(mg/L)	1.55	1.85	1.65	2.85	1.53	1.89
	処理後(mg/L)	0.31	0.86	0.76	1.36	1.05	0.87
	削減率(%)	80.00	53.51	53.94	52.28	31.37	54.22
TP	処理前(mg/L)	0.42	0.40	0.66	0.98	0.86	0.664
	処理後(mg/L)	0.12	0.14	0.26	0.40	0.52	0.288
	削減率(%)	71.43	65.00	60.61	59.18	39.53	59.15
COD <sub>Mn</sub>	処理前(mg/L)	3.96	4.12	4.03	5.00	4.21	4.26
	処理後(mg/L)	2.36	2.06	2.21	2.96	2.86	2.49
	削減率(%)	40.40	50.00	45.16	40.80	32.07	41.69

(出所) 『太湖無錫地区水資源保護和水污染防治』

(注) 中国水産科学研究院淡水漁業研究センター 2008 年 7 月～11 月

#### (4) 農村生活排水対策

農村における生活排水処理施設建設を推進するが、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ない。住居が集中した小集落では都市下水の二級処理基準に準じた処理手法を普及させる。この場合、農村の状況に応じて、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 3 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。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、一日当たり 40 トン程度と推測される。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の敷設費を含むかどうかは不明である。接触ばっき法による施設の処理規模は 20 家庭であり、一日当たり 15 トン程度と推測される。建設費は 25 万元と表示されていたが、ここも管路敷設費を含むかどうかは不明である。いずれのモデル事業も管轄は宜興市営林局であった。

### 写真 3 宜興市における処理施設のモデル設置状況



(出所) 2009 年 9 月 筆者撮影

(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、  
右は接触ばっきという生物処理法による施設

いずれにしろ、現在は様々な処理方法をモデル設置として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<sup>2</sup>。

#### (5) 農業面源負荷削減実証事業

前述したように、十五計画期間に宜興市大浦鎮にモデル地域を設定して、ここまで示してきた農業面源負荷削減に関する実証化事業が実施された。モデル事業は、無錫市太湖湖泊治理有限責任会社が主体となり、関連する大学と研究所が協力して行われた。モデル地区は宜興市大浦鎮の東南部に位置し、北は東汎（湖）と大浦港を境とし、西は施蕩河、南は洋岸道路に接しており、面積 24km<sup>2</sup>、農家 8,115 戸、人口 2 万 5,000 人、外来人口 2,500 人余りで、14 の行政村落と 33 の自然村落が存在していた。この地区は太湖流域南溪水系に属し、典型的な湖岸クリーク地区で、施蕩河と溪西河が南北に流れ、南は黄澆港、北は宜粟河下流の東汎（湖）や湖流入河口とつながっている。また、東西方向には大小 13 本の河道が通り、水門でコントロールされており、このうち朱澆港と林庄港の二本の河道は東へ伸びて太湖へ通じている。

『太湖無錫地区水資源保護和水污染防治』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施肥量は N が 540～600kg/km<sup>2</sup>/a、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> が 150～300 kg/km<sup>2</sup>/a であり、表 5 に示した推奨施用量を大きく上回っていた。また、生活排水の処理

<sup>2</sup> 水落[2009, 2010]、水落ほか[2009]を参照。

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見られ、極めて簡便な処理後に放流されていた。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。

モデル地域内には、合計 46 本、総延長約 180km の河道が通り、更に 60 本の支流と干上がった水路が 31 本あった。モデル地域は、クリーク網が張り巡らされた状況にあり、河道は基本的に双方向に流れ(主に西から東)、流速が遅く、水流が緩慢で、長時間にわたり静止状態にあった。また、水質汚染が深刻な状態にあり、湖に流入する河口区の T-N は 3.4mg/L、T-P は 0.22mg/L で、共に V 類以下の水質であった。西側の東沱(湖)からは、モデル地区に水が 19,900m<sup>3</sup>/a 流入していたが、これはモデル地区自身の年間表面流出の 21 倍に相当し、流入する TN、TP が大幅に基準を超えていた。モデル地区の河道網汚染は、①面源汚染の負荷が大きいこと、②迂回経路が短く、滞留時間が短く、自浄能力が弱いこと、③河道が縦横に交錯し、流れる方向が一定せず、相互に貫通し、人為制御レベルが高いこと、④人口密度が高く、多毛作の割合が高く、化学肥料の使用量が多いこと、⑤面源汚染の管理体制が乏しく、環境意識が弱いこと、を特徴としていた。

モデル事業の改善効果を判定するために、モデル地域の下流に当たる林庄港の水質測定結果を表 7 に示す。NH<sub>4</sub>-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<sub>Mn</sub> は 31%削減された。T-N は V 類以下のままだったが、水質濃度としては 64%改善された。モニタリングの頻度等が不明なため、ここで示し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当たる林庄港の水質が劇的な改善傾向を示したことは明らかである。

表 7 宜興市大浦鎮で実施した農業面源汚染削減モデル事業の成果(下流の林庄港の水質)

期間	項目	COD <sub>Mn</sub>	NH <sub>3</sub> -N	TN	TP
2002年	範囲	8.32～9.23	0.67～1.67	4.16～8.82	0.6～2.14
		Ⅳ	Ⅲ～Ⅴ	劣Ⅴ	劣Ⅴ
	平均	8.78	1.17	6.49	1.51
		Ⅳ	Ⅴ	劣Ⅴ	劣Ⅴ
2005年	範囲	4.08～8.00	0.01～1.25	0.65～4.08	0.06～0.22
		Ⅲ～Ⅳ	Ⅰ～Ⅲ	Ⅲ～劣Ⅴ	Ⅱ～Ⅳ
	平均	6.04	0.63	2.37	0.14
		Ⅳ	Ⅲ	劣Ⅴ	Ⅲ
平均値改善率(%)		31.2	46.2	63.5	90.7

(出所) 太湖無錫地区水資源保護和水污染防治



### （６）農業・農村汚染抑制区の建設

前述したモデル事業の成果を受けて、無錫市では総面積 1,680km<sup>2</sup> の 8 箇所の農村・農業汚染抑制区を建設する計画である。表 8 に抑制区の名称、範囲および面積等を示す。建設の順序として、太湖に流れ込む河道の両側の建設を優先し、その後、2020 年までに全ての抑制区建設を終える予定とされている。

表 8 無錫市で計画されている農村・農業汚染抑制区

	抑制区名称	抑制区位置	区画面積	抑制区作用範囲
1	無錫城区抑制圈抑制区	無錫市区抑制圈内部	20	当該抑制区
2	直湖港抑制区	直湖港両側、北は京杭運河、西は武進境区界、東は山地まで	160	梅梁湖 当該抑制区
3	錫南抑制区	北は大運河、曹王涇、五里湖、東は望虞河、南は貢湖、西は長広溪まで	40	貢湖 当該抑制区
4	竺山湖以西抑制区	北は武進区境界、西は滬湖、南は焼香港、東は湖岸まで	170	竺山湖 当該抑制区
5	太湖以西抑制区	北は焼香港、西は武宜運河、滬流港、虞河、南は山地、東は太湖まで	170	太湖湖区 当該抑制区
6	滬湖以西抑制区	滬湖以西、北と西は市境界、南は北溪河、馬公蕩まで	130	滬湖 当該抑制区
7	三汊抑制区	北東は滬流港、北は北溪河、馬公蕩、滬湖まで、西は境界まで、南は山地まで	190	東汊、団汊、西汊、 当該抑制区
8	錫澄抑制区	京杭運河と長江の間、東と西は市境界まで	800	当該抑制区、京杭運河、長江、太湖
合計			1,680 km <sup>2</sup>	

（出所）『太湖無錫地区水資源保護和水污染防治』

### 3. 生態系修復事業

太湖の水質保全計画では、既に九五計画において、水環境改善指標として水質および生態系の修復が挙げられている。これら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事により、水質改善をさらに加速するといった、水質改善と生態系修復を車の両輪に見立てた事業が展開されている。太湖ではこのような考え方に基づいた事業が 2006 年までに計 4 回 7 箇所で実施されている。ここでは、『太湖無錫地区水資源保護和水污染防治』に示された西五里湖で実施された、第 10 次 5 カ年計画重大技術特別プロジェクトにおける生態系修復試験について概説する。

この試験プロジェクトには 4,500 万元が投じられ、西五里湖生態系修復試験区の面積は 2.87km<sup>2</sup> であった。このうち水生植物の植付けによる生態修復面積は 1km<sup>2</sup> で、西五里湖

の面積の 31.4%に相当した。試験区は B 区、C 区、D 区、Y 区、S 区の 5 つの処理区に分けられた。当時五里湖の水質は V 類以下で、透明度は 20~30cm しかなかった。試験期間から現在に至るまで五里湖は閉鎖が可能な水域で、外部水域から五里湖に入る 11 本の河道は全て水門で管理されており、河道を通して湖に流れ込むほぼ全ての汚水を抑制し、効果的に五里湖に流れ込む汚染負荷を減らすことができた。また、梅梁湖ポンプ所を利用して、水生植物生長期の水位を適切な水深に調整して水生植物の生長を助けた。さらに試験期間中はエンジン船舶の航行を禁止し、底泥の巻き上げを抑制することができた。試験プロジェクトの期間は 2003 年~2005 年であり、「外部汚染源の抑制、内部汚染源の削減、生物生存環境の改善、生態系の修復、安定的な生態系の保持」を基本として、以下に示す具体的な事業を実施した。

#### (1) 外部汚染源の抑制と内部汚染源の削減

・外部汚染源が湖に流れ込むのを全面的に抑制した。五里湖の重汚染湖区では浚渫を行い、水生植物の生長環境を壊すことなく五里湖の内部汚染源を取り除いた。

#### (2) 生存環境の創成

生存環境の改善とは主に水生植物の生存環境条件の改善であり、水生植物植付け前と生長旺盛期の二つの段階が含まれる。湖底を修復し、水質を改善して生態系修復の条件を整えた。湖底の修復には有毒有害化学物質の削減、湖底の地形、地勢、湖底の改造、湖底の安定性の維持が含まれ、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た。一定の可能な範囲で自然または人工的(ポンプ所)に、水位、水深を調節した。一定の範囲内で施設によって波を抑制し、試験区内外の水の出入りを抑制した。試験期間中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 T-N、T-P およびその他の汚染物質の内部負荷発生量を減らした。

#### (3) 生態系の修復

水質汚染と生態系の劣化が深刻な五里湖にとって、生態系の修復とは水生植物と水生動物を含めた水界生態系を再生することである。五里湖の水生植物、特に沈水植物は水質汚染が深刻なために退化し、極めて少なかったので人為的な植付けを行った。水生植物は水域の栄養物質 T-N、T-P を吸収することができ、しかも湖の底泥を固定し、波を沈め、湖の底泥からの内部負荷を引き下げ、水域の透明度と自浄能力を高めることができる。

##### ①水生植物の植付け

先ず五里湖試験区での生長に適した品種を選んだ。品種の選定では、その品種が現有環境に害を及ぼさないかどうか、順調に生長できるかどうかを考慮した。次に水域の透明度



を引き上げた。植物の生長は光合成と切り離すことができない。湖底の植物は光が当たらなければ生きることができない。陸生または水生植物浮床を浮かべ、浮遊動物を増やし、大流量の曝気や光補償措置を採用した。養殖池を湖に戻し、徐々に水位を調節し、様々な措置を講じて透明度を引き上げて、植物が正常に生い茂ることができる理想的な外部環境を提供した。

#### ②導入した植物

菖蒲、アシ、ガマ、イチハツ、ミソハギ等の挺水植物、スイレン、ハス、ハナジュンサイ、ヒシ等の浮葉植物、センニンモ、コカナダモ、オオフサモ、エビモ、クロモ等の沈水植物、カンナ、ホソムギ等の浮床植物を採用した。

#### ③魚類および貝類等の導入

水生動物として西五里湖、特に養殖池を湖に戻した湖区に大量のタニシ、カラスガイ、シジミ、ハクレン、コクレン等の水生動物を放流した。

#### ④安定した生態系の調整

一定の範囲または限度内で生態修復区水域の外部環境を調整すると同時に、適宜に生物群落の構造を改善した。また、健全な湖の安定した生態系を保持するために、季節に応じて水草を導入し、一年を通じて水生植物、底棲動物、魚類群の数を最適化して、安定した生態系を形成した。

### (4) 生態系修復プロジェクトの成果

プロジェクトで得られた水質改善および生態修復に係る成果は以下のように示されている。

#### ①水質改善

西五里湖の2005年の水質環境は、2002年と比べて大幅に改善した。2005年の生態系修復区の $\text{NH}_4\text{-N}$ はⅢ～Ⅳ類、平均Ⅲ類になり、東五里湖よりも2～4等級良かった。T-PはⅢ～Ⅳ類、平均Ⅳ類になり、東五里湖よりも1～2等級良かった。COD<sub>Mn</sub>、BOD<sub>5</sub>は全ての区でⅢ～Ⅳ類になった。T-Nは依然としてⅤ類～Ⅴ類以下であったが、濃度は東五里湖よりも60%～70%低かった。2005年の西五里湖生態修復区の栄養状況は、以前の重富栄養化状態から中栄養化～栄養化状態に変った。

#### ②生態系修復

西五里湖にはほとんど挺水植物と沈水植物が生息していなかったが、生態系の修復によって

現在はアシ、ガマ等の挺水植物、スイレン、ハナジュンサイ、ガガブタ等の浮葉植物、ササバモ、オオフサモ、エビモ、クロモ、セキショウモ等の沈水植物が生育している。西五里湖全体の水生植物植被率は25.8%~30%になり、生物の多様性が高まり、景観における効果が高まった。

生態系修復後の五里湖が人の視覚に与える効果は非常に良好で、五里湖の青々とした山と川、青い波、美しい風景は、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。

西五里湖は、生態系修復試験プロジェクトが2005年に終了した後も、専門管理機関の蠡湖管理弁公室を置き、資金もあり良好に管理したことにより、水質改善と生態計修復の良性循環的な相互作用が発揮され、水環境改善の進捗が認められる。2008年上半期にはT-NもIV~V類になり、引き続き水環境指標が改善されている。

上記をまとめると、外部との水の流通を遮断可能な五里湖において、水質改善と生態系修復の相互関係を検討したもので、第1段階として浚渫や護岸の改変により、内部負荷の低減を図ると共に、目標とする生態系の出現が可能な底質等の環境改善を行った。続いて、第2段階として、複数の手法により対象とする水域の水質改善を図り、第三段階として、目標とする生態系を形成する代表的な生物群を人為的に導入して、生物量の調整等を行い、最終的な目標となる太湖の旧来の生態系を復元し、安定化させることを目指していると考えられる。写真4に五里湖における取り組み状況を示す。ここでは、第一段階（上左）で養魚池を取りつぶし、栄養塩を多く含有する底泥を浚渫するとともに土起こしを行い、湖底部の環境改善を行っている。第二段階（上右）では水耕栽培浄化法による水質改善を行い、その後、第三段階（下）として過去、湖に繁茂していた「菱」を人為的に導入している。その他に数種類の魚も導入された。このような取り組みは、日本の指定湖沼でも散見されるが、太湖ではより積極的な事業展開が図られていると考えられる。

写真 4 五里湖で実施された生態系修復事業の様子



(出所) 筆者が五里湖 で撮影

(注) 上左が第一段階の養魚池を廃しての浚渫と湖底の修復 (2001 年 8 月)、上右が第二段階の植栽浄化手法を用いた水質浄化 (2003 年 8 月)、下が第三段階の旧来の菱を導入した生態系復活 (2005 年 9 月)

## まとめ

本報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』をもとに整理した。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、対策と住民との関わりに関する知見を得ることができ、今後、実効性を担保した流域ガバナンス論を展開して行く上で、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、更なる処理を目指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。

次に、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一番厳しい基準である 1 級 A 基準を当てはめる。この基準は我が国の下水道排水基準比よりも厳しい内容となっている。また、既設の半数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、我が国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、流出負荷対策を取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、農業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。このような農業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、総体方案の内容に沿っているが、農業面源対策では総体方案に示された事業項目は、むしろ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。特に農業面源対策に関しては、日本の指定湖沼における水質保全計画内容よりフィージビリティのある様々な事業が計画されており、総体方案期間の成果の我が国へのフィードバックが期待される。

太湖の水質改善計画の特徴の 1 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質改善事業の 1 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、水質目標のように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。

## 【参考文献】

### ＜日本語文献＞

崎尾さやか[2004]「剪定枝の発酵床への利用」『畜産環境対策大辞典』（第 2 版）農文協 657-662 ページ。

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,

18-19 ページ。

水落元之[2010]「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』 33 (2) 61-65 ページ。

水落元之[2010]「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』アジア経済研究所。

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』 32 (6) 59-63 ページ。

村上正吾・王勤学・水落元之・劉晨・大場真 [2010]『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)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 21 年度研究成果—中間成果報告集— (Ⅱ／全 8 分冊), 675-678 ページ (環境省総合環境政策局 2010 年 8 月)。

流域別下水道整備総合計画制度設計会議[2008]『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。

柳田宏一[2004]「土着菌を利用した高床式発酵床豚舎」『畜産環境対策大辞典』(第 2 版) 農文協 651-656 ページ

#### <中国語文献>

「2008 年全国投運城鎮污水处理設施清單」(2009 年 7 月) 国家環境保護總局ウェブサイト。

「太湖流域水環境綜合治理總體方案」(2008 年 4 月) 国家發展改革委員會ウェブサイト。

江蘇省環境保護庁・江蘇省質量技術監督局 [2007]「太湖地区城鎮污水处理廠及重点工業行業主要污染物排放限值」(江蘇省地方標準 DB/T1072-2007) 江蘇環保サイト。

国家環境保護總局[2000]『三河三湖水污染防治計畫及規畫』北京：中国環境科学出版社。

国家環境保護總局 [2002a]「城鎮污水处理場污染物排放標準 (GB18919-2002)」。

国家環境保護總局 [2002b]「地表水環境質量標準 (GB3838-2002)」。

国家環境保護總局[2004]『“三河三湖”水污染防治“十五”計畫匯編』北京：化学工業出版社。

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、中国水利水電出版社。

#### <ウェブサイト>

国家發展改革委員會 <http://www.sdpc.gov.cn/>

国家環境保護總局 (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/>

