

社会情報学研究, Vol. 13, 75-87, 2007

中国青島市における污水处理施設の現地調査¹⁾

—呉市の下水道事業の現状と比較して—

王 剛*・孫 静*・松尾 昭彦**

Investigation on Sewage System in the City of Qing Dao, China¹⁾
— Comparison of the Sewage System with It of Kure City in Japan —

Wang Gang*・Sun Jing* and Akihiko Matsuo**

Recently, Chinese economic society is expanding by a very high speed to build a big business in the international trade being called as “factory in the world”. The society subsequently discharges a lot of pollutants of waste-water and waste-air causing an environmental degradation in the various local regions. A large volume of industrial and domestic waste-water discharged from the society should be digest artificially through the sewage system using an activated sludge process to construct environmentally concerned society forming a sustainable development. This paper deals with the sewage system in QingDao-city, China comparing with the system in Kure-city.

Key Words (キーワード)

Remediation of sewage (汚水浄化), Sewage System (下水道事業), Activated sludge process (活性汚泥法), Reuse of sludge and chusui (汚泥と中水の再利用), Qing Dao-city (青島市), Kure-city (呉市), Sustainable development (持続可能な発展)

1. はじめに

日本などの経済先進諸国では、高度成長期に大気汚染や水質汚濁など種々の公害が国内の各地で発生して大きな社会問題化した時期があったが、新規に開発した公害防止技術と社会システムとしての法整備を拡充して環境悪化の改善を達成してきた歴史がある。²⁾

人口が13億人を突破した近年の中国の経済は、凄まじい速度で発展しており、「世界の工場」として躍進を続けている。現在の中国は「世界の工場」とであるとともに、将来は自国の消費が拡大し「世界の市場」として、経済がさらに拡大するであろう。中国の経済発展の規模と速度は非常に大き

く、21世紀の中葉には中国のGDPが、アメリカを抜いて世界のトップになると予測されるほどの勢いである。³⁾

さて、「世界の工場」としての中国経済は、外資企業が中国国内の低コストで質の高い豊富な労働力に注目して、企業進出することによって達成されているものとも考えられる。このような「世界の工場」は、見方を変えれば、「場所貸し工場」であり、世界の環境負荷が中国へ集約されていることである。これは、中国に進出している大半の先進国の製造業にとって、中国における環境規制が本国よりも緩くて環境コストも低いからであろう。本来は世界各国が分担すべき環境負荷を中国に集約し、その結果として中国の環境悪化を助長

* 呉大学大学院社会情報研究科 (Graduate School of Social Information Science, Kure University)

** 呉大学大学院社会情報研究科・呉大学社会情報学部

(Graduate School and Faculty of Social Information Science, Kure University)

することになっている。このような世界規模の「モノの流れ」が、グローバル化以降の地球環境問題の新たな構造として取り上げられている。⁴⁾

中国はグローバル・サプライ・チェーンに立脚した「モノづくり」の最適地として世界から生産拠点を集めている。原料や部品を世界中から運び込み加工して、再び世界中に運び出す「モノづくり」のシステムは、膨大なエネルギーの浪費を前提として構築されている。手近で入手できる原料や部品でなく、輸送コストを加えてもより安い部品や原料があれば、世界中どこからでも運び込んで使い、規模の経済を追求して生産コストを下げ、コストの高いライバルを駆逐して、世界中に商品売り込むモデルには、省エネルギーや環境負荷の低減という視点は乏しい。先進国の消費者は、地球温暖化などのグローバルな環境悪化でしか環境問題を感じないが、中国の各地域の住民は、水質や大気などの日常の環境悪化に直面している。グローバル・サプライ・チェーンに立脚する「世界の工場」から脱していくことが、中国にとっても持続的成長への道であり、これで世界と中国の間での利害対立がなくなる。⁴⁾

以上の状況のように、中国の経済は急速に発展しており、現在では都市部をはじめ地域においても環境の悪化が多数発生し、大きく報道されている。最近では、中国の主要な環境汚染源が工業分野だけでなく、都市地域の個人の生活にまで拡大移行しつつあり、生活の向上と連動して生活汚染物（污水や固形廃棄物）の増加とその回収が今後大きな課題となることが予想される。中国の中央政府は、経済と環境の調和した持続可能な発展を目指すことを大きな目標としているが、地域産業においてはコストがかかる環境対策には二の足を踏んでいる。地方では経済発展を優先しており、必ずしも中央政府の指導が守られておらず、地域格差が顕著で都市対農村、沿海部対内陸部という構図などにより、汚染対策がなかなか浸透しにくい状況となっている。

中国の環境問題の解決には中央政府主導の強力

なりリーダーシップが必要であることは論を待たないが、環境問題を政府だけの問題とせず、国民一人ひとりの問題として協力を促す必要に迫られている。そのためには、先進国が実施しているように、中国においても、まず政府が国民に対して環境情報の提供をさらに進め、国民の理解と関心を高める必要がある。汚染物質の排出量の濃度・総量規制だけでなく、汚染者支払いの義務（PPPの原則）に則り、汚染物質の排出そのものに対して料金の徴収を図り、超過量に対しては追徴金の徴収を行い、違反者には罰金を課するといった規制強化も試みられている。環境問題について豊富な経験を持つ日本は技術・設備の提供を行い、管理ノウハウを提供して効果的な都市の環境問題の解決に協力を続けてきている。⁵⁾

2. 中国の水資源と排水の問題

2.1. 中国の水資源

中国の水資源総量は、表1に示すように2兆8,053億トンで、総人口13億人とする一人あたりの水資源は2,150トンとなり、この量は世界平均の1人あたり水資源量の3割程度にすぎない。さらに、中国の水事情は「南方4区」と呼ばれる長江、珠江、東南諸河、西南諸河流域において圧倒的なシェア78.8%を占めており、松花江、遼河、海河、黄河、淮河、西北諸河流域の「北方6区」では僅か21.2%に過ぎない。このように水資源の地域偏在が著しく、南北間で水資源量に不均衡な状態があり、特に首都北京は水資源が乏しく、一人当たりの水資源は僅か300トン未満である。水資源の使用の構成は、農業用水のシェアが63.6%、工業用水22.8%、生活用水12.0%、生態用水1.6%となっているが、需要の増加傾向にある工業用水、生活用水、生態用水の間で水資源の奪い合いが激しくなっている。^{6) 7)}

水資源の豊富な長江の上流（青海省）、中流（湖北省）、下流（江蘇省）に導水路を建設し、水不足に悩んでいる西北部、北京、天津を含む華北部、山東省へ水を供給する「南水北調」国家プロジェ

表1 中国の水資源の構成 (2005 年)

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 降水量: 61,010 億 m^3 | a 降水量 |
| 水資源総量=地表水資源量+地下水資源量-両者重複量 | b 水資源量 |
| 28,053 億 m^3 = 26,982 億 m^3 + 8,091 億 m^3 - 7,020 億 m^3 | b/a=46.0% |
| 水使用量=農業用水+工業用水+生活用水+生態用水 | c 水使用量 |
| 5,633 億 m^3 = 3,583 億 m^3 + 1,284 億 m^3 + 676 億 m^3 + 90 億 m^3 | c/b=20.1% |

クトが決定されている。⁸⁾

2.2. 中国の排水

「全国環境統計公報」によると、2004 年における中国の年間污水排出総量は 482.4 億トンに達しており、一人当たりの年間污水排出量は 40 トンとなっている。生活水準の向上と都市化が進むに連れて、生活排水の割合が高まり、2004 年には都市部の生活排水と工業排水は 54 %と 46 %になっており、前年に比較してそれぞれ 4.1 %, 5.5 %増加している。工業排水としては、化学、製紙、醸造、染料、コークス、製菓等の工場が水質汚染の最大の汚染源といわれている。⁷⁾

開発が急速に進む中国の排水に関する緊急の課題は、工業排水対策と生活排水（都市排水）対策を行い、地域の実情に合わせた適切な都市下水処理システムの普及・整備を行うことである。産業や人口の集中する都市から排出される污水が未処理のまま排出されている事例がある。都市污水の不十分な管理が河川、湖沼、海洋の水質汚濁を慢性化させ、使用可能な水資源を減少させ、人体や水環境へ悪影響を及ぼすことになる。中国北部地域の流域河川では、過剰取水や砂漠化の影響による水量の減少が水質の悪化を助長し、利用可能な水量を減少させ、水不足を慢性化させるという悪循環が浸透している。^{9) 10)}

3. 排水処理としての下水道事業

人間が各地に分散して生活していた古い時代には、生活排水の浄化や雨水の除去などは本来河川によって行われており、し尿の処理は農地に還元

し肥料として利用されていた。しかし、人口が都市に集中するようになると、生活排水が増加し、さらに経済発展に伴って工場排水の増加も起きた。そして、本来河川が果たしている汚濁物の希釈や微生物による分解などの自浄作用を超えて水質を悪化させるようになってきた。そのため、河川の果たしえない部分を、下水道事業として微生物の機能を人工的に利用して、生活排水や工場排水の浄化を達成するようになった。下水道の機能としては、台所や風呂からの排出される生活污水の浄化や便所の水洗化による生活環境の改善、工場排水の浄化により公共用水域の水質改善、さらには雨水排除などもあげられる。

現在の大多数の下水処理場で行われている污水の浄化は、20 世紀の初期に開発された活性汚泥法によって行われている。家庭の生活排水や事業場などの排水は、ポンプ所を經由して下水道を通して下水処理場へ送り込まれ、砂やゴミを沈ませて一次処理される。次に下水処理の本質である反応層（活性汚泥法による浄化）において、汚れが微生物の働きで分解される。この二次処理を経て浄化された上澄み水を消毒して、河川や海洋に放流される。さらに、閉鎖性水域等において富栄養化を防止するために、放流水域の水質を改善する目的で次のような高度処理法が導入されている。

1) 嫌気好気法 (A/O法): 標準活性汚泥法の糸状性バクテリア対策として、曝気槽の前に嫌気槽を設けた方法である。後に、リンの除去にも有効であることが示され、リン除去能力を高めた活性汚泥処理として利用されている。

2) 循環式嫌気好気法 (A/A/O法): 嫌気好気

表2 アジア7カ国における下水設備の整備率(2000年)

| 国名 | 中国 | インド | インドネシア | 日本 | 韓国 | フィリピン | タイ |
|-----------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|--------|
| 都市人口数(人) | 409,965 | 288,283 | 88,833 | 98,605 | 38,354 | 44,530 | 13,252 |
| 下水設備整備率 | 68% | 73% | 87% | 70% | 75% | 92% | 97% |
| 非都市人口数(人) | 857,953 | 725,379 | 125,275 | 27,490 | 8,940 | 31,437 | 48,147 |
| 下水設備整備率 | 24% | 14% | 52% | 22% | 4% | 71% | 95% |

(注)・人口は単位(1,000)

・日本の値は、下水道整備率を指定都市(東京都区分含む)+市を都市人口とし、町村人口を非都市人口として、下記2のデータをもとに算出。

(出所) 1. The WHO and UNICEF, Global Water Supply and Sanitation Assessment 2000 Report.

2. 日本の数値は「平成11年度版下水道統計要覧」、第56号の3、p.27.

法に、生物学的脱窒処理と組み合わせた循環式嫌気好気法(A/A/O法)などのさまざまな方法が考案されている。^{11) 12) 13)}

アジア7カ国の都市人口数と非都市人口数およびそれぞれの下水設備整備率(下水サービスを受けている人の割合)を表2に示している。アジア各国の下水設備整備率は、道路や電気などと共に都市インフラとして重要であり、ほとんどの国において設備整備率の向上に努め日本以上の成果を上げている。この表に示しているように、中国とインドは人口数が多いこともあり膨大な数の人々が、下水道のサービスを受けていない。中国では都市で約1億3千万人もの人々が、非都市地域では約6億5千万人の人々が基本的な下水設備を持たず、下水サービスを受けていない。^{7) 14)}

日本の政府は中国に対する経済協力援助を続けているが、世界の国々の中ではその実績は日本が最大であり、援助総額の約3分の2が日本からの援助によって占められている。日本の対中経済協力事業の特徴は環境問題が中心で、特に下水設備を中心とした水関連事業が多い。借款は国際協力銀行(JBIC)が実施し、2005年は748億円、贈与は国際協力機構(JICA)等が実施し、2004年の無償資金協力は41億円であった。^{5) 15)}

今回著者らは、中国の環境問題の中で特に日常の社会活動から発生する生活排水や工場排水の処理としての下水道事業について、著者の一人(王剛:W.G)の出身地である青島市を特定してその

地域の排水処理の状況について調査研究したので報告する。

4. 青島市における污水处理施設の整備状況¹⁶⁾

4.1. 青島市の概要

著者らは、2006年(平成18年)8月に下水処理施設を中心とした中国青島市の社会環境の現地調査を実施した。青島市は黄海に突き出た山東半島に位置し、膠州湾沿いと黄海に面している。山に囲まれ海に臨み、青島市の海岸線(島嶼部も含む)は総延長870kmもあり、山東省の海岸線の4分の1を占めている。青島市は7つの市内区と5つの区外市から構成されており、総面積は10,654km²(東京都の約4.8倍)である。産業別従業者の構成比は、第三次産業38.4%、第二次産業54.1%、第一次産業7.5%である。人口は731万人(周辺の農村人口を含む)を擁して、都心人口は258万人(市区面積は1,102km²)で、中国第四位の港町である。

青島市は山東省の悠久な歴史と比べて、一番若い近代的な街であるが、古くには歴史的著名な始皇帝、漢の武帝、詩仙李白らも青島市の郊外にある労山に登った記録が残っている。古い時代の青島は小さい漁村であったが、1870年前後から清政府はこの地域の重要性を重視して海軍基地を建設した。青島地区の重要性を狙ったドイツ軍は、1897年青島から山東半島を侵略し青島で都市建

設を始めた。第一世界大戦後、日独戦争で勝利した日本軍は1914年青島を日本の植民地にした。その後1922年青島は再び中国に返還された。¹⁷⁾ そのため、青島の町並みはドイツ租借時代の風格がよく残っており、「青空、碧海、緑木の中に赤い屋根」という青島の街風景が形成されている。今ではヨーロッパ風情の都市景観、多彩な観光イベントや整った観光施設と便利な交通に惹かれ、多数の観光客が国内外から訪れ、世界で有名な青島ビールと様々な海鮮美食が満喫できる。

東方のスイスという美名を持っている青島は、東部新市区の建設に力を入れて、碧海の傍に林立している近代高層ビルは青島の活気を世界に見せている。2003年からは、市環境保護局はクリーナープロダクション業務の強化を基点として、次々と企業20社を選択し循環経済モデル事業を展開しており、その職種分野はエネルギー、鉄鋼、機械製造、醸造、農業等多岐にわたる。これらモデル企業は良好な経済効果と社会効果と利益を得て、青島市の全面的循環経済推進と、資源節

約型社会建設に堅固な基礎を築いた。2008年には第29期オリンピックにおけるヨット競技が青島で開催されることになっている。

4.2. 青島市における污水处理施設の整備状況

青島市中心部における下水道は、古くドイツ租借地時代(1897-1914)にすでに汚水と雨水の両方を排水する施設があり、分離式と混合式の二つの方法が採られていた。前者分離式は、排泄物および汚水を排除する污水管と単に雨水のみを排除する雨水管とから成り、主として青島、大飽島および灰泉岬方面に採用した。後者混合式は、排泄物、汚水、雨水等を混合して排除する下水管で、大港および埠頭区内で用いられた。これら総ての汚水は地形を利用して4個所に汚水溜りを設け、更にそれらを集めて電気ポンプで中央污水集合溜りに集めて、強力なポンプで高所に揚げ、自然の力で4キロ離れた団島の港内岬の末端に設けられた排泄口を送り、そこから海中に放流し、湾内の潮流によって外海に運ばせていた。このよう



図1. 青島市の地図

に、古い時代には下水を1箇所に集めてから、海に放流し自然浄化に頼っていた。¹⁷⁾しかし、現在の下水道による污水浄化は20世紀の初期に開発された活性汚泥法によって人工的に下水処理場で行われている。

現在の青島市の排水状況については、青島市全域（面積10,654 km²、人口731万人）の工業排水の年間総排出量が9,130万トンで、排水指標達成量が9,123万トンである。排水中にはアンモニア性窒素の排出量が690トン、化学的酸素要求量（COD）が1.60万トン、石油類排出量は3.8トンも含まれている。青島市全域の生活排水の年間排出量は15,053万トンで、8,957万トンが処理されており、処理率は59.5%である。排水中の化学的酸素要求量（COD）およびアンモニア性窒素排出量はそれぞれ3.98万トンと0.51万トンであり、これらの大量の汚染物質は污水处理場で処理して浄化されている。

青島都市4区内（面積1,102 km²、人口258万人）にある污水处理場による総年間排水処理量は12,223万トンで、そのうち工業排水が3,266万トンで処理総量の26.7%を占める。污水处理場において除去される化学的酸素要求量（COD）の量は7.91万トンで、アンモニア性窒素除去量は0.44万トンで、総磷除去量は0.072万トンである。

ここ数年、青島市は膠州湾海域の汚染対策に向けて、市内区の工業污水と生活污水の処理のために海泊河、李村河、麦島、団島の四箇所の污水处理場を完成した。污水处理能力は36万トン/日、都市污水处理率が80%前後に達し、污水处理で全国の先頭に立った。麦島污水处理場の建設工事に対しては、ドイツ政府が2500万マルクを贈与し、青島市政府が3億元の付帯資金を投入して建設したもので、ドイツの先進的な技術・設備が導入されている。この処理場で、人口26万人、10.6平方キロメートルの地域の污水を処理できるようになった。設計処理能力は10万トン/日で、世界でもかなり先進的な微生物による脱窒素除リンのA/A/O技術を採用し、処理後の水質は国の水準をクリアしている。その後、市外区の平度市

および膠州市污水处理場が建設され操業を開始した。これで、市全体の下水管網整備規模がさらに拡大したことになる。ところで、水資源の乏しい青島市においては、「中水利用計画」を打ち出して実施に移された。まず、海泊河污水处理場で中水再利用工程が建設され、団島污水处理場の5000トン/日の再生水利用工程の使用が開始された。また、青島市のために年間1,460万トンの淡水資源を節約できる即墨市および膠南市污水处理場の主体工事が終了した。このような中水、再生水の利用は大きな反響を呼んで、中国各地で盛んになり、特に北京市においては2005年から新規の住宅団地に中水化プラントの設置義務や景観用水等の中水使用の義務化等の施設を設置している。⁷⁾

4.3. 李村河污水处理場での污水处理の現状

2006年（平成18年）8月の晴天で暑い日に、施設見学の許可の得られた李村河污水处理場へ到着した。李村河污水处理場は図1の地図に示すようにA地点で膠州湾の東岸に位置し、近くには膠州湾高速道路があり市の中心部からのアクセスもよく、隣地には石炭ガス工場もあり、敷地面積は15.5ヘクタールを占める。当污水处理場には総投資額28,250万人民元が投入され、一期工事の污水处理能力は8万トン/日で、1998年2月から正式に運行し始めた。二期建設において総括的な処理規模は17万トン/日に拡大した。処理面積は29Km²で、処理人口として25万人にサービスしている。年平均BOD2万トン、COD3.5万トン、SS3.4万トンを除去している。

李村河污水处理場の遠景が写真1に見られるように、よく整備された施設であり、そこで行われている污水处理のしくみを図2に示している。工場や家庭から排出された污水は、まず一次処理として、最初に沈砂池に入り、砂や大きなごみが除去され、次に污水は最初沈殿池に送られ沈砂池で除かれなかった小さな砂やごみが除去される。その後二次処理として、污水は処理システムの心臓部である反応タンクに送られ、活性汚泥（微生物の集合体）と微生物の活動に必要な空気を混ぜて

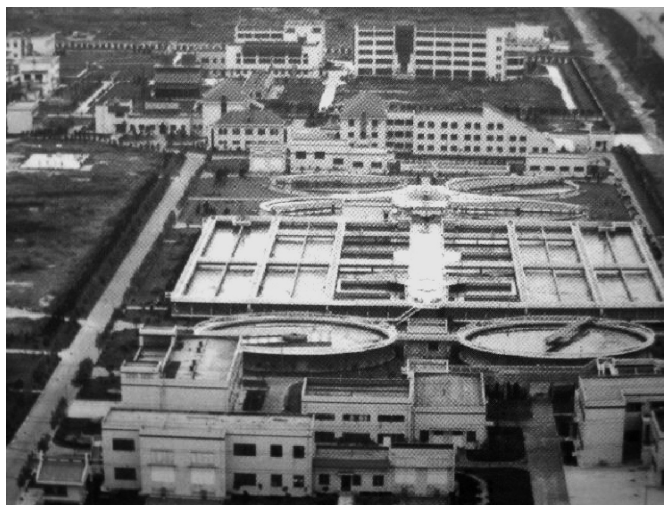


写真1. 李村河污水处理場の遠景

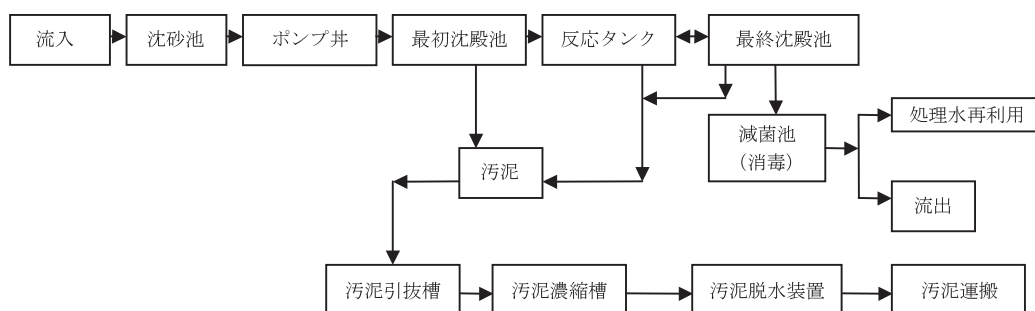


図 2. 李村河污水处理場における下水処理のしくみ（流れ図）



写真 2. 李村河污水处理場の反応タンク

時間をかけてゆっくりと反応させる。その結果、汚水の汚れが微生物に食べられて浄化され、微生物は必然的に増殖して大きな塊になる。最終沈殿池で微生物の塊（活性汚泥）を沈殿させてきれいに浄化された上澄みの水と分離して、浄化水だけを滅菌池に送り塩素と接触させて、消毒して放流する。

李村河污水处理場においては工業汚水が汚水総

量の 2/3 を占めている。流入水の分析値（表 3 参照）：全生物的酸素要求量(BOD) 300 - 800 mg/L, 全化学的酸素要求量(COD) 500 - 1700 mg/L, 浮遊物質(SS) 250 - 1400 mg/L, アンモニア性窒素(NH₃-N) 35 - 90 mg/L, 全リン(TP) 5 - 30 mg/L を示し高濃度の物質が含まれる汚水が流入している。流出水の分析値（表3参照）：BOD 4 - 12 mg/L, COD 40 - 80 mg/L, SS 3 - 26 mg/L,

表3. 流入水および流出水の分析データ（李村河污水处理場）

2006 年 7 月データ

李村河污水处理場

| 日期 | BOD | | COD | | SS | | NH ₃ -N | | TP | |
|----------|-----|-----|------|------|------|------|--------------------|-------|-------|------|
| | 流入 | 流出 | 流入 | 流出 | 流入 | 流出 | 流入 | 流出 | 流入 | 流出 |
| 7 月 1 日 | 675 | 11 | 1058 | 53 | 796 | 12 | 46.59 | 1.92 | 13.2 | 2.51 |
| 7 月 2 日 | 555 | 11 | 817 | 43 | 504 | 15 | 50.28 | 3.15 | 5.45 | 1.82 |
| 7 月 3 日 | 420 | 6 | 1375 | 53 | 1012 | 16 | 65.92 | 1.53 | 13.87 | 2.5 |
| 7 月 4 日 | 460 | 10 | 1028 | 63 | 768 | 24 | 59.77 | 1.69 | 7.07 | 0.88 |
| 7 月 5 日 | 450 | 13 | 785 | 33 | 520 | 6 | 41.75 | 1.69 | 8.93 | 2.18 |
| 7 月 6 日 | 480 | 5 | 760 | 63 | 622 | 16 | 34.5 | 5.2 | 12.1 | 3.2 |
| 7 月 7 日 | 375 | 4 | 891 | 54 | 794 | 18 | 35.97 | 6.93 | 9.72 | 2.38 |
| 7 月 8 日 | 570 | 5 | 947 | 44 | 922 | 16 | 39.04 | 1.89 | 12.81 | 2.86 |
| 7 月 9 日 | 461 | 11 | 1025 | 37 | 876 | 18 | 53.89 | 1.7 | 12.57 | 2.39 |
| 7 月 10 日 | 330 | 7 | 820 | 44 | 714 | 19 | 46.11 | 2.02 | 13.11 | 4.24 |
| 7 月 11 日 | 460 | 11 | 1333 | 69 | 956 | 9 | 49.18 | 2.39 | 11.72 | 2.06 |
| 7 月 12 日 | 481 | 8 | 1431 | 49 | 1268 | 20 | 53.92 | 1.76 | 20.31 | 2.93 |
| 7 月 13 日 | 460 | 7 | 1396 | 49 | 1220 | 16 | 54.26 | 1.74 | 27.57 | 3.45 |
| 7 月 14 日 | 460 | 7 | 1629 | 49 | 1370 | 26 | 55.46 | 3.63 | 29.19 | 4.79 |
| 7 月 15 日 | 380 | 4 | 923 | 67 | 762 | 30 | 41.78 | 5.22 | 11.07 | 4.24 |
| 7 月 16 日 | 540 | 8 | 981 | 63 | 740 | 10 | 55.42 | 4.29 | 11.17 | 1.98 |
| 7 月 17 日 | 560 | 7 | 1192 | 58 | 928 | 16 | 88.2 | 7.65 | 9.56 | 1.7 |
| 7 月 18 日 | 580 | 5 | 923 | 65 | 708 | 16 | 66.7 | 3.97 | 13.1 | 2.93 |
| 7 月 19 日 | 780 | 9 | 861 | 50 | 638 | 18 | 47.84 | 6.45 | 11.41 | 2.99 |
| 7 月 20 日 | 460 | 5 | 872 | 73 | 684 | 24 | 53.56 | 7.74 | 13.18 | 3.43 |
| 7 月 21 日 | 500 | 7 | 995 | 63 | 650 | 26 | 38.35 | 7.23 | 11.87 | 1.55 |
| 7 月 22 日 | 540 | 7 | 819 | 74 | 598 | 20 | 39.41 | 4.783 | 9.8 | 1.2 |
| 7 月 23 日 | 440 | 9 | 933 | 81 | 706 | 18 | 65.04 | 7.72 | 13.48 | 1.27 |
| 7 月 24 日 | 340 | 9 | 981 | 64 | 530 | 12 | 78.17 | 5.89 | 11.54 | 1.49 |
| 7 月 25 日 | 400 | 8 | 514 | 67 | 344 | 19 | 61.33 | 2.77 | 6.99 | 0.85 |
| 7 月 26 日 | 440 | 9 | 819 | 71 | 730 | 22 | 52.82 | 3.98 | 23.9 | 1.03 |
| 7 月 27 日 | 391 | 11 | 571 | 67 | 596 | 20 | 56.36 | 1.44 | 10.49 | 2.16 |
| 7 月 28 日 | 411 | 12 | 701 | 33 | 722 | 20 | 40.16 | 1.84 | 10.33 | 0.76 |
| 7 月 29 日 | 391 | 10 | 629 | 51 | 462 | 3 | 41.05 | 8.4 | 10.01 | 1.97 |
| 7 月 30 日 | 240 | 9 | 765 | 40 | 262 | 4 | 38.2 | 2.4 | 11.29 | 2.07 |
| 7 月 31 日 | 530 | 10 | 876 | 42 | 524 | 10 | 41.8 | 2.1 | 8.84 | 2 |
| 月平均値 | 470 | 8.2 | 956 | 55.9 | 740 | 16.7 | 51 | 3.91 | 13 | 2.32 |

NH₃-N 1.7 – 7.7 mg/L, TP 0.7 – 4.6 mg/L のように当污水处理場においては、効果的に汚水の浄化が達成されている。

李村河污水处理場の流入水(汚水)と流出水(浄化水)の分析データを表 3 に示しているように、汚染度の高い汚水(COD 値, BOD 値が大きく、窒素やリンの値も大きい)が流入されている。ここ李村河污水处理場へは大量の工業汚水が導入されているためであり、このように汚染度の高い汚水が流入しているので、污水处理に工夫が施されている。BOD 値は効果的にさげられているが、COD 値が高く工業汚水が原因であることが明らかである。基本的には活性汚泥法で処理しているが、膠州湾沿いに立地し浄化水を閉鎖系の膠州湾に放流するために高度処理(A/ A/O 級の污水处理方法)を採用して窒素やリンの除去に努めている、その結果、処理水の浄化程度は、安定を取得して国家標準より優れている。

污水处理場には生活排水や工場汚水を浄化し環境悪化を防止する大きな役割があるが、そのほかに汚水の浄化過程において必然的に発生する汚泥と浄化水(中水と命名されている)を有効利用する必要がある。中国の水事情については前述したように、「南水北調」プロジェクトで、中国南方の豊富な水資源を、水源が不足している中国北方へ送水する計画が実施されている。水資源の乏しい青島市においても、「中水利用計画」が打ち出され、市内の処理場の海泊河污水处理場や団島污水处理場で実施に移されている。さらに、市外区の即墨市および膠南市污水处理場の主体工事が終了し中水再利用工程の使用が開始されている。しかし、当李村河污水处理場における中水利用状況は場内のトイレや散水などに有効的に利用されているのみである。当処理場の発生汚泥に関しては、新式の熱交換機を導入して汚泥の脱水を達成しているが、汚泥の有効利用は不十分である。

5. 呉市における污水处理施設の整備状況¹⁸⁾

5.1. 呉市の概要

呉市は広島県の南西部に位置し、市の南側には瀬戸内海を挟んで江田島市があり、また、市の西および北側には陸続きで坂町、海田町、府中町、熊野町、東広島市などがある。瀬戸内海に面した気候穏和で自然に恵まれた臨海都市である。年平均気温は 15.9℃、年平均相対湿度は 68%、年平均風速は 2.0m/s と年間を通じておおむね温和な気候となっている。2000 年(平成 12 年)に特例市に昇格した。2005 年(平成 17 年)には平成の大合併により人口 25 万人を超え、世帯数は 11 万世帯で、1 世帯当たりの人員は 2.27 となっている。産業別従業者の構成比は、第三次産業 66.9%が最も多く、第二次産業の 32.8%、第一次産業は 0.3%に過ぎない。市域面積は 353.3km²で、そのうち 54%が山林で、平坦地は少なく、海まで張り出した山塊によって市街地が各地区に分断されている。天然の良港である呉湾は東洋一の軍港として栄えた時期もあったが、戦後は造船・鉄鋼業を中心に発展した。2003 年(平成 15 年)4 月に下蒲刈町を、2004 年(平成 16 年)4 月に川尻町を、2005 年(平成 17 年)3 月に音戸町・倉橋町・蒲刈町・安浦町・豊浜町・豊町を編入合併した。新生「呉市」は、風向明媚な瀬戸内海のほぼ中央に位置しており、海岸線は約 298.3 Km に伸びており日本有数の長さとなった。広島県内の瀬戸内海国立公園の実に 40%強を占めている。

5.2. 呉市における污水处理施設の整備状況

中国青島市の污水处理の状況について調査結果について記述してきたが、現在の生活基盤である呉地域の下水道事情と比較検討するためにここで述べる。

呉市の下水処理事業は、1958 年(昭和 33 年)に下水道法の事業認可を受けて事業に着手して以来、都市形態の変化に伴う処理区域の拡大、汚水量の増加等に対応して事業計画の変更を行いながら新宮、広および天応処理区の整備を進めている。2003 年(平成 15 年)4 月に下蒲刈町と、2004 年(平成 16 年)4 月に川尻町と、2005 年(平成 17 年)3 月に音戸町・安浦町・蒲刈町・倉橋町・豊町・

豊浜町と合併したことにより、新たに川尻・音戸北部・安浦・蒲刈・本浦・倉橋中央の6処理区が追加された。表4には下水道普及率や処理人口など呉市の下水道事業に関する事項を、1970年（昭和45年）から2005年（平成17年）まで5年毎にまとめている。普及率は1970年（昭和45年）の10.8%から平成の大合併前の人口20万人だった2003年（平成14年）の90.5%に著実に増加してきたが、大合併によって人口25万人になった2005年（平成17年）時点での普及率は78.9%と減少している。しかし、この数字は全国平均の69.2%（2005年度国土交通省調）を大幅に上回っている。

5.3. 新宮浄化センターでの污水处理の現状

呉市においては、新宮・広・天応の三つの浄化センターおよび川尻浄化センターでは各処理区域から流入する下水を標準活性汚泥法により浄化

し、合併町の安浦・蒲刈・本浦・音戸北部・倉橋中央の浄化センターではオキシデーションディッチ法を採用して流入する下水を衛生的に処理して瀬戸内海へ放流し、海の汚れを防止している。先に調査研究をした中国青島市の李村河污水处理場と比較検討するために、呉市では最大規模である新宮浄化センターを特定して訪問し、当センターのご援助を得て施設見学と資料提供を受けた。

ここに、中国李村河処理場と当新宮処理場の敷地面積や污水处理量などを表5に比較している。処理方法などはほとんど同じであるが、李村河処理場の規模（污水处理量）は新宮処理場の2.7倍位である。

処理区域内の流入水は、前述の李村河処理場と同じようにすでに確立されている標準汚泥活性法で浄化され、処理の流れもほとんど同じであるがその処理フローを図3に示している。

表4. 呉市下水普及率の推移

| 年 度 | 昭和45年 | 昭和50年 | 昭和60年 | 平成元年 | 平成7年 | 平成11年 | 平成14年 | 平成17年 |
|-------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 行政人口(A)人 | 236,930 | 241,689 | 228,340 | 219,888 | 211,291 | 206,236 | 204,003 | 255,028 |
| 処理人口(B)人 | 25,700 | 50,300 | 127,400 | 145,600 | 168,000 | 180,200 | 184,660 | 201,216 |
| 人口普及率(B/A)% | 10.8 | 20.8 | 55.8 | 66.2 | 79.5 | 87.4 | 90.5 | 78.9 |
| 認可区域面積ha | 303.2 | 1700.9 | 1984.3 | 2486 | 3142.3 | 3142.3 | 3237 | 4243.1 |
| 処理区域面積ha | 253.7 | 472 | 1405.6 | 1709.4 | 2243.8 | 2619 | 2834.3 | 3473.8 |

表5. 李村河污水处理場と新宮浄化センターの比較

| | 李村河污水处理場 | 新宮浄化センター |
|------------------------|-----------------------|----------------------|
| 敷地面積 (m ²) | 155,000 | 30,960 |
| 排除方式 | 分流式（一部合流式） | |
| 污水处理 | 標準活性汚泥法 （循環式嫌気好気法） | 標準活性汚泥法 （疑似嫌気好気法） |
| 汚泥処理 | 濃縮、機械脱水 | 濃縮、機械脱水 |
| 処理人口（万人） | 25 | 10.8 |
| 処理量（万トン/日） | 17 | 6.3 |
| 処理面積（km ² ） | 29 | 16.3 |

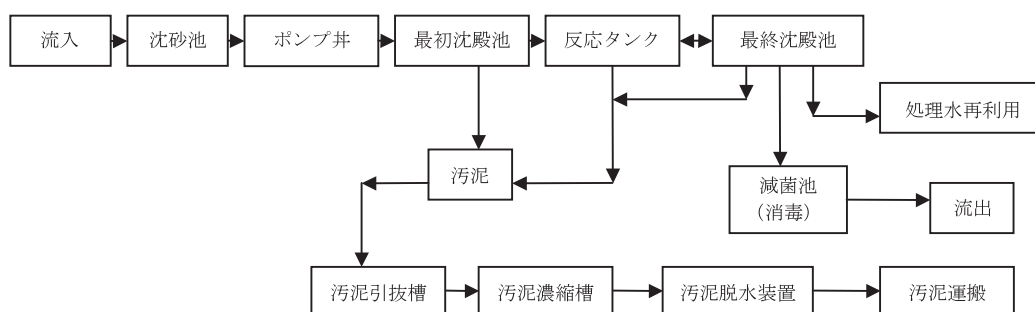


図3. 新宮浄化センターにおける汚水処理のしくみ（流れ図）

表6. 李村河污水处理場および新宮浄化センターの分析データ比較

青島市李村河污水处理場

| 2006 年 | BOD | | COD | | SS | | NH ₃ -N | | TP | |
|--------|-----|-----|------|------|------|-------|--------------------|------|----|------|
| | 流入 | 流出 | 流入 | 流出 | 流入 | 流出 | 流入 | 流出 | 流入 | 流出 |
| 5月平均値 | 655 | 8.2 | 1335 | 58.0 | 1088 | 11.00 | 64 | 2.82 | 18 | 1.23 |
| 7月平均値 | 470 | 8.2 | 956 | 55.9 | 740 | 16.74 | 51 | 3.91 | 13 | 2.32 |

呉市新宮浄化センター

| 2006 年 | BOD | | COD | | SS | | NH ₃ -N | | TP | |
|--------|-----|----|-----|-----|-----|----|--------------------|------|----|------|
| | 流入 | 流出 | 流入 | 流出 | 流入 | 流出 | 流入 | 流出 | 流入 | 流出 |
| 5月平均値 | 110 | | 67 | 8.3 | 110 | | 25 | 9.43 | 4 | 0.47 |
| 7月平均値 | 160 | | 110 | 7.7 | 170 | | 41 | 6.89 | 12 | 0.17 |

新宮浄化センターへ流入する下水の汚染度は通常の値を示し、標準活性汚泥法で浄化されるが、より浄化の効率を上げるために、当浄化センターでは反応層の一部の曝気を止める疑似嫌気好気法を採用して、浄化効果を上げている。

現地調査を実施した2006年(平成18年)の5月と7月の李村河処理場と新宮浄化センターの流入水と流出水(浄化水)の分析データを表6に示している。李村河処理場に流入する汚水の濃度が高い(値が大きい)のは、前述の通り工業排水の割合が大きいためである。李村河処理場の流出水(浄化水)の全化学的酸素要求量(COD)の値が50程度あるが、全生物的酸素要求量(BOD)の値は8程度で大変効率的に浄化されている。流出水のCOD値が高いが、これは活性汚泥法(微生物による分解)の限界かもしれない。処理場に流入するCODの濃度を下げる必要があるように思えるが、

そのためには工場から排出される工業排水の水質を調整して、処理場に流入する工業排水の濃度を下げる必要がある。

以上のように、李村河污水处理場および新宮浄化センターでは活性汚泥法(微生物による分解)で流入汚水が浄化されて膠州湾および瀬戸内海に放流されて、地域の環境の保全に大いに寄与している。しかし、汚水浄化の過程で必然的に発生する汚泥(増殖した微生物群)や中水(浄化された水)の有効利用を達成しなければならない。新宮浄化センターにおいては時間をかけた試行錯誤の結果として、汚泥はコンポストおよびセメント原料として全量有効利用されている。これは全国でも希なケースで担当者の努力の賜だと思われる。李村河污水处理場においては、これら副産物の有効利用が今後の課題であり、早急に解決し自然と共生する循環社会を構築されるよう期待している。

6. おわりに

雨や雪として降ってきた水は、小川から大河となつて流れ下つて海にたどり着き、海から蒸発した水は再び地上へ降下し、循環を繰り返している。我々人間をはじめ全ての動植物は、この水なしでは生きていけない。しかし、現代の我々人間の活発な生産活動・都市活動は、もはや自然の浄化能力をはるかに超えるほど水を汚染してきている。下水道を整備することにより、トイレの水洗浄等が進み、清潔で快適な生活環境が図られるほか、都市内に降った雨も下水管を通じて速やかに街から排水され、下水（汚水）処理場で浄化されて放流される。このように工場（産業）排水や家庭排水を下水（汚水）処理場で人工的に浄化するシステムによって川や海などの自然環境が保全されているのである。

さて、我々が快適な社会生活を営むためには、道路・街路、鉄道、河川、上下水道、エネルギー供給施設、通信施設などの生活・産業基盤や学校、病院、公園などの公共施設等の都市基盤施設を充実させることが必要である。これら施設は全て生活に密接に関係して大切なものであり、都市間の拡充度の差異が、そこに生活する住民の豊かさに対する満足度の度合として現れる。特に、本テーマである下水道施設は、家庭排水やし尿等の浄化施設で直接生活に関連しており、工場排水の浄化等や雨水の排除にも寄与している。このように、下水道施設は生活環境を改善し、災害から人々の生命を守るとともに、河川や海などの自然環境の保全に対しても重要な施設でもある。

本論文では中国青島市と呉市の下水処理の状況について調査したが、両施設において処理される工場（産業）排水や家庭排水は活性汚泥法で処理され、程度の差はあるがともに順調に浄化されている。青島市李村河汚水処理場では工業排水の流入が多く、高度処理を実施して分析結果の改善に努めているが、BOD 値の低下に比し COD 値が小さくならず、工業排水の流入をコントロールすることが必要であろう。流入汚水の浄化が処理場

において達成されており、環境悪化の防止に大きく寄与している。今後は下水を高度処理しその水を河川の上流に還元したり地下へ涵養することで水循環・水環境の維持、回復に積極的に貢献していくことが希求されている。

さらに、別の視点から考えてみると、我々人間が持続して発展するためには、我々の生活を「自然と共生」して人間活動を「環境と調和」させることが必要である。日本では、このような視点に基づき、現在の社会システムを環境への負荷の少ない「持続的発展が可能な社会」へ変革し、「物質循環と自然との共生を確保する経済社会システム」への転換を目指している。中国においても、現在の環境に大きな影響を与えている物質優先主義の経済システムを、人民の総意で「循環と共生を中心に据えた経済システム」に変革しなければ、環境悪化はますます進んでいくであろう。¹⁹⁾

謝 辞

青島市李村河汚水処理場および呉市新宮浄化センターでの下水道事業の調査に際して、施設の解説および資料の提供等にご援助いただいた両施設の方々に謝意を表する。

文献および注

- 1) 本論文を松尾昭彦の研究論文第 133 報とする。前報 132 報：*ent-Kaurane-Type Diterpenoids from a Cell Suspension Culture of the Liverwort Jungermannia subulata*, 2007, *Planta Medica*, **73**,689-695。第 131 報：Identification and functional analysis of bifunctional *ent*-kaurene synthase from the moss *Physcomitrella patens*, 2006, *FEBS Letters*, **580**, 6175-6181。
- 2) 下川耿史編, 2004, 環境史年表 昭和・平成編, 河出書房新社。
- 3) 関 志雄編著, 2007, 中国を動かす経済学者たち, 東洋経済新報社。
- 4) 後藤康浩, 2007, グローバル化した中国の環境問題,

- 中国環境ハンドブック 2007-2008 版, p23, 蒼蒼社.
- 5) 中国環境問題研究会編, 2007, 日本政府の対中環境協力, 中国環境ハンドブック 2007-2008 版, p449, 蒼蒼社.
- 6) 中国環境問題研究会編, 2007, 水資源, 中国環境ハンドブック 2007-2008 版, p321, 蒼蒼社.
- 7) 経済協力開発機構(OECD)編著・及川祐二訳, 2004, 「世界の水資源と環境保全」, 明石書店.
- 8) 曲 曉光, 2006, 中国水問題と解決の取り組み(中国), NEDO 海外レポート, No. 974, 53-57.
- 9) 中国環境問題研究会編, 2007, 廃水・水質, 中国環境ハンドブック 2007-2008 版, p298, 蒼蒼社.
- 10) 大塚健司, 2007, 中国における水汚染事故の動向, 中国環境ハンドブック 2007-2008 版, p133. 蒼蒼社.
- 11) 環境省編, 2007, 平成 19 年版環境・循環型社会白書, p147, p337, 環境省
- 12) 住友 恒・細井由彦共著, 1987, 環境衛生工学, 朝倉書店.
- 13) G. Tchobanoglous F. L. Burton (Rev.), 1991, Wastewater Engineering, Treatment, Disposal, and Reuse, Irwin/McGraw-Hill.
- 14) 知足章宏, 2005, アジアの開発途上国における水質汚染問題と下水事業への民間参入 (Private Participation) の現況・経験, 立命館国際地域研究, 23, 153-167.
- 15) 長瀬 誠, 2007, 円借款通じて活躍した日本の環境技術, 月刊下水道, 30(9), 69-72, 環境新聞社.
- 16) 李村河污水处理場の施設見学および提供資料等を参考に記述した.
- 17) 瀬戸武彦, 2000, 青島(チンタオ)をめぐるドイツと日本 (3), 高知大学学術研究報告, 49, 59-86.
- 18) 新宮浄化センターの施設見学および提供資料等を参考に記述した.
- 19) 松尾昭彦, 2001, 自然と共生する人間環境の視点, 「暮らしと環境の視点」, p27, 学文社.