

## 11. その他の予算による研究

[下水道研究室]

# 1. 日本近海における海洋環境の保全に関する研究

下水道研究室 室長 横田 敏宏  
主任研究官 重村 浩之  
研究官 藤原 弘道

## 1. はじめに

近年、日本近隣諸国における経済発展は著しく、産業の発展と急速な人口増加が見られる反面、工場排水や生活排水に起因する水質汚濁が進行しており、渤海・黄海・東シナ海・日本海を範囲とする日本近海においても、有害赤潮の発生等に象徴される海洋環境の悪化が顕在化してきている。このような状況に対し、近隣諸国では河川並びに海洋における水質汚濁防止に向けて様々な取り組みが行われている。都市排水による汚濁の削減については、下水道の整備等により一定の効果があがっているが、近隣諸国における経済規模とその成長速度を鑑みると依然十分とは言える状況ではない。

このような状況の中、当研究室では2008年度より3カ年で、日本近海の海洋環境保全を目的として、関係各国の下水道整備を軸とする、陸域からの汚濁負荷排出抑制による海洋環境保全手法の検討を進めてきた。図-1には本研究の3カ年の研究フローを示している。図-2は本研究で扱う、調査対象流域圏を表している。図-2にあるとおり、日本近海とは渤海・黄海・東シナ海・日本海を指し、それらに面した近隣諸国（日本・中国・韓国・ロシア）からの汚濁負荷流出を削減することが海洋環境の保全に大きく寄与すると考えられる。

調査の流れとしては、関係各国である日本・中国・韓国・ロシアにおける陸域からの汚濁負荷流出削減対策及び、海洋上での汚濁負荷挙動を把握するための準備段階として、まず2008年度に既存研究の把握、関係各国における陸域及び海域の諸データの収集を行った。続いて、2009年度には、2008年度・2009年度に収集した地形・汚濁負荷原単位・河川流量・降水量等の各種データを用いて、関係国である日本・中国・韓国・ロシアにおける陸域からの汚濁負荷流出モデル（汚濁負荷モデル）の構築、並びに経済成長（汚濁負荷流出）・下水道等整備（汚濁負荷削減）を考慮した、2030年までの将来シナリオの設定を行った。また、構築した汚濁負荷モデル及び将来成長シナリオ設定により算出された汚濁負荷排出量を、別途構築した、渤海・黄海・東シナ海・日本海を対象とする海洋海流シミュレーションモデルに入力値として用いることで、海洋上での汚濁負荷量の変化を把握した。最終年度である2010年度は、2009年度までに行ったシミュレーション計算結果の補正・修正を行うと共に、最終的に算出された汚濁負荷削減対策の効果を考慮しながら、日本近海における海洋環境保全対策の検討を行った。

以下、3箇年で行った調査内容について、2. 関係各国における陸域からの汚濁負荷流出・海洋環境に関する情報収集結果、3. 陸域からの汚濁負荷シミュレーションの構築手法ならびに計算結果、4. 海洋海流シミュレーションの構築手法並びに計算結果、5. 過去3箇年に開催した国際シンポジウムの概要、6. 関係諸国間の研究パートナーシップの概要、7. まとめ、の順で記述していく。

平成20年度

- ・既存研究の把握
- ・海域汚染の現状把握
- ・陸域からの汚濁負荷量データの収集

平成21年度

- ・陸域及び海域のシミュレーションモデル構築
- ・経済成長を考慮した将来シナリオの検討
- ・構築したモデルを用いた汚濁負荷量予測

平成22年度

- ・シミュレーション計算結果の補正
- ・日本近海海洋環境保全対策案の検討

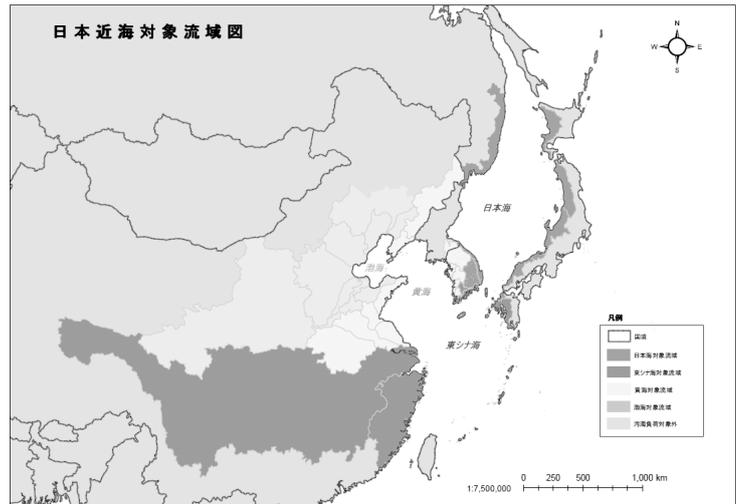


図-1 研究フロー

図-2 調査対象流域圏

## 2. 関係各国における陸域からの汚濁負荷流出・海洋環境に関する情報収集結果

### 2.1 関係各国における陸域からの汚濁負荷流出に関する情報

前節でも述べたとおり、近隣諸国における陸域からの汚濁負荷流出シミュレーションを構築し、海洋に排出される汚濁負荷量の現況とその将来予測を行うことが、本研究の調査において重要となる。その汚濁負荷モデルの構築に向けて、2008年度にまず関係各国（日本・中国・韓国・ロシア）における水質環境基準の設定状況、指定状況、排水規制の状況、各国の下水道の整備状況及び、水資源、汚濁負荷量、汚濁解析、水質環境保全施策に関する文献等を収集した。概ね各国の基本的な文献は収集できたが、ロシアに関しては収集できる文献およびデータが少なく、収集できるデータについても最新のデータは公開されているものは限定的であった。

また、汚濁負荷モデル上で実際に使用するデータとして、地形・土地利用データ、人口データ、気温・降雨データ、工業生産額データ、生活系（point source）・自然系（nonpoint source）・などの汚濁負荷量原単位、主要河川における水質・水量等のモニタリングデータを収集した。これら収集した資料について、基本的に各国で公表されている資料から収集している。例えば中国のデータでは、中華人民共和国国家统计局・中国統計年鑑<sup>1)</sup>、中華人民共和国環境保護部・中国主要流域水質自動監測データ<sup>2)</sup>などより収集した。

一方、文献・データ等情報収集を試みたが適切な情報が見つからなかったケースもある。汚濁負荷量原単位については、調査データが収集できなかったもの（中国における面源系負荷（nonpoint source）の山林系、農地系、市街地系に関する原単位等）については、日本の平均的なデータを使用するなど、他国のデータを代用することで対応した。

### 2.2 関係各国における海洋環境に関する情報

2.1で収集したデータを用いて構築する「陸域からの汚濁負荷モデル」によって算出される汚濁負荷排出量は、別途構築する「海洋海流シミュレーション」に入力値として組み込まれる。海洋海流シミュレーション計算を行うことによって、海洋汚染の再現とその将来予測が可能となる。海洋海流シミュレーションモデルの構築に向けて、2008年度は主に以下3つの情報について調査した。3つの情報とは、①海洋海流シミュレーションモデルの調査情報、②近隣諸国の影響評価モデルの適用検討調査情報、③日本近海の海洋環境調査に関する情報である。

#### 2.2.1 海洋海流シミュレーションモデルの調査情報

海洋海流シミュレーションモデルについて既存の研究・調査を調べた所、日本から近い東シナ海の研究結果は

比較的多く見られるものの、渤海、黄海周辺、中国沿岸に近い東シナ海の計算例、観測例は少なかった。また、渤海、黄海、東シナ海と日本海全域を網羅した数値シミュレーションは、公表されているものが皆無に近いことも併せて判明した。このことから、日本近海全体の海流シミュレーション構築を実施するためには、対馬海峡などの特徴的な場所で海域を分断し、東シナ海と日本海双方の海域特性に応じたシミュレーションモデルを検討し、シミュレーション結果を連続的に繋げる手法が妥当であろうと推測された。

### 2.2.2 近隣諸国の影響評価モデルの適用検討調査情報

海洋海流シミュレーションモデルと併せて、近隣諸国からの汚濁負荷流出の影響評価モデル（いわゆる水質モデル）の適用についても調査を行った。調査の結果、東京湾流域別下水道整備総合計画<sup>3)</sup>や第6次水質総量規制<sup>4)</sup>においては、陸域からの負荷量が増えた場合の海域への影響については、いずれも「低次生態系モデル」を適用していた。適用理由としては、富栄養化が進行した海域では、陸域からの栄養塩類（窒素(N)やりん(P)）の負荷量が増えた場合、COD負荷量そのものが変化していなくても、植物プランクトンの生産量が増えることにより海域のCOD濃度に影響が生じることが知られていることが、主たる理由であった。これらの状況を考慮して、本研究においても、日本近海近隣諸国の経済活動や下水道等社会基盤整備の変化による海域への負荷量変化に伴う我が国への環境影響を評価するためには、東京湾流域別下水道整備総合計画<sup>3)</sup>と同様、「低次生態系モデル」を選択することが望ましいと推測された。

### 2.2.3 日本近海の海洋環境調査に関する情報

前項の調査と併せて、日本近海の海洋環境に関する既往調査の情報も収集している。調査では、日本近海の沿岸各国の水質データ（中国環境年鑑<sup>5)</sup>・韓国統計年鑑<sup>6)</sup>・公共用水域水質調査結果<sup>7)</sup>など）、リモートセンシングデータ、漂着ゴミのデータについて収集・整理を行った。収集された情報より、水質データについては中国沿岸域における汚染状況の深刻さ、また韓国沿岸域においては、窒素濃度の増加が確認できた。ロシア沿岸域においては、重金属の測定結果は公表されているが、富栄養化物質の測定結果は公表値が殆ど無いことなども明らかとなった。また、日本沿岸域においては、対馬海域でのCOD濃度の増加が認められ、東シナ海起源の濃度が上昇している可能性が収集したデータより示唆された。

また、エチゼンクラゲの移動ルート、漂着ゴミの実態、漂着ゴミの発生源についても各種データを参考に網羅的に情報を収集、整理した。近年、漂着ゴミ等が日本の領土に漂着する事例が増えているが、シミュレーションにより漂流物の移動経路の予測計算も可能になってきていることも分かった。

## 3. 陸域からの汚濁負荷シミュレーションの構築手法ならびに計算結果

### 3.1 陸域からの汚濁負荷シミュレーションの構築手法

#### 3.1.1 陸域からの汚濁負荷モデル構築にあたっての基本的考え方

2008年度に収集した情報を用いて、不足する情報を補いながら、また修正を加えながら、日本近海へ流出する汚濁負荷量把握のための日中韓露における陸域からの汚濁負荷モデルを構築した。

陸域からの汚濁負荷モデルの構築にあたり、各国のデータを揃える必要があることを考慮し、対象汚濁物質はCOD、窒素(N)、りん(P)とした。汚濁負荷の計算手法は、日本における流域別下水道整備総合計画<sup>8)</sup>の考え方を参考として、図-3に示すような、原単位法と呼ばれる手法に従った。汚濁負荷モデル計算の手順については、次項で説明する各種使用データを収集すると共に、図-4に示す通り、まず水系のブロック分割を行う作業から始め、ブロックごとの人口等のフレーム値の設定、発生負荷量、原単位の設定を行った後、総発生負荷量の算定を行うこととした。その後、施策の影響による削減率や、面源系負荷量についての補正計算を行った。中国においては農業用水利用等の利水による消失率、降水量の河川への流達率などを考慮した補正を、ロシアにおいては工場排水水質の補正を行い、最終的に海域への総流達負荷量の算定を行った。

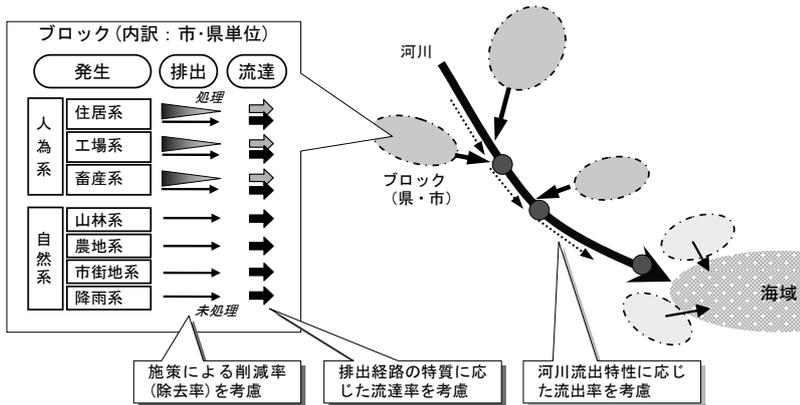


図-3 陸域からの汚濁負荷モデルの計算イメージ

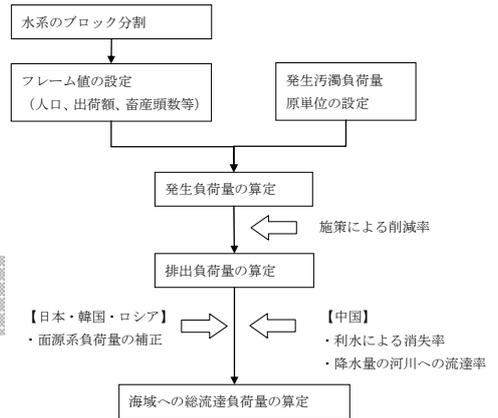


図-4 陸域からの汚濁負荷モデル計算フロー

### 3.1.2 陸域からの汚濁負荷モデル構築に係る各種使用データ

陸域からの汚濁負荷モデルの構築にあたっては、2008年度より関係各国（日本・中国・韓国・ロシア）における、水質環境基準の設定状況、指定状況、排水規制の状況、各国の下水道の整備状況及び、水資源、汚濁負荷量、水質環境保全施策などに関するデータ・文献収集を行っている。また、地形、土地利用、人口、産業、汚濁負荷量原単位、主要河川における水質・水量等の汚濁負荷モデルを構築するために必要なデータについては、公表されている資料<sup>5)6)7)</sup>等により収集している。なお、公表資料等によりデータが収集できなかった汚濁負荷原単位（海外の山林系、農地系、市街地系に係わる原単位データ等）については、日本の流総別下水道整備総合計画指針と解説<sup>8)</sup>などを用いて、原単位の実態に近いと想定される国のデータを用いて代替することとした。

### 3.1.3 水系のブロック分割について

水系ブロック分割については、主要河川流域を基本として分割しており、中国では長江流域・黄河流域にそれぞれ7つのサブブロックを設けている。また海岸に近い地域については、汚濁負荷が直接海域に排出される直接排出ブロックとして水系ブロックを設定している。（図-5）日本、韓国、ロシアについても水系ブロックを設定しており、日本海、黄海、東シナ海の海域毎にそれぞれ10ブロック、5ブロック、4ブロックを設けている。（図-6）



図-5 中国における流域ブロック分割

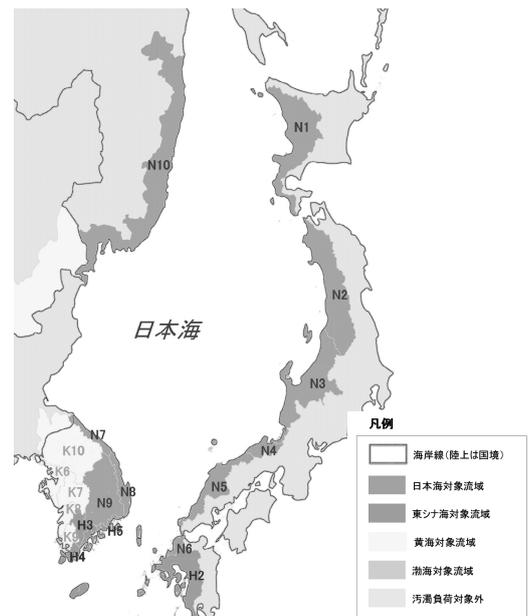


図-6 日本・韓国・ロシアにおける流域ブロック分割

### 3.1.4 陸域からの汚濁負荷モデルに使用した原単位について

陸域からの汚濁負荷モデルに用いた原単位については、中国においては「中華人民共和国太湖水環境管理計画調査(JICA)」<sup>9)</sup>の値を、日本では「流域別下水道整備総合計画指針と解説」<sup>8)</sup>の値を、韓国では「水系汚染総量管理技術指針」<sup>10)</sup>の値を主に用いている。ロシアについては原単位に係る資料が十分に入手できなかったため、一人当たりのGDPの値が他の3カ国の中で類似していた中国における設定値を用いるなど、他国の数値で代用した。構築した汚濁負荷モデルに用いた汚濁負荷原単位を整理したものを示す。(表-1, 表-2, 表-3, 表-4)

項目	中国、ロシア				日本				韓国									
	標準法除去率	COD	T-N	T-P	標準法除去率	COD	T-N	T-P	標準法除去率	COD	T-N	T-P						
除去率	下水道	80.0%	30.0%	60.0%	下水道	④	80.0%	30.0%	60.0%	下水道	80.0%	30.0%	60.0%					
	合併浄化槽	80.0%	42.0%	38.0%	農集等	⑤	81.5%	44.5%	51.5%	合併浄化槽	80.0%	42.0%	38.0%					
	中国の除去率は、日本の除去率と同等とした。				合併浄化槽	⑥	80.0%	42.0%	38.0%	単独	し尿分 雑排水	53.5%	34.4%	30.0%				
					単独	し尿分	⑦	53.5%	34.4%						0.0%	0.0%	0.0%	
					単独	雑排水	⑧	0.0%	0.0%	0.0%								
	高度処理型除去率	COD	T-N	T-P	高度処理型除去率	COD	T-N	T-P	高度処理型除去率	COD	T-N	T-P						
	下水道	90.0%	75.0%	85.0%	下水道	④'	90.0%	75.0%	85.0%	下水道	90.0%	75.0%	85.0%					
	合併浄化槽	85.0%	67.0%	38.0%	農集等	⑤'	90.0%	75.0%	85.0%	合併浄化槽	85.0%	67.0%	38.0%					
	中国の除去率は、日本の除去率と同等とした。				合併浄化槽	⑥'	85.0%	67.0%	38.0%	韓国における下水道施設基準(韓国上下水道協会、2005年 環境省)には、除去率の記載がないものの、韓国国内の処理方式として標準活性汚泥法が多いため、日本の除去率と同等とした。 なお、下水道区域外人口は「単独浄化槽」の除去率を採用した。 韓国の下水道区域内普及率には、合併浄化槽等も含まれており、区分できないため、下水道除去率を適応する。								
					【下水道の出水・設計指針(後編)】 標準活性汚泥法による家庭排水を対象にした一般的な除去率が記載されており、本調査では中間値を設定した。 また、T-N、T-Pの除去率は下水の「高度処理技術(平成4年)」に示されている二次処理平均値を採用した。 ※設計指針の範囲内で運転している処理場の数値 【農集・合併浄化槽等の出水・流線指針】 農集除去率は排出量・負荷量原単位調査結果に基に、設定した合併浄化槽の除去率は、湖沼水質保全計画値(11箇所)の平均値を採用した 単独浄化槽の除去率は、調査資料等を基に設定されている排出負荷量原単位をもとに設定													
排出負荷原単位 [発生×(1-除去率)]	標準法				標準法(シナリオ1,2,3)				標準法(シナリオ1,2,3)									
	都市部	下水道放流	生活排水A	5.6	7	0.4	下水道	③×(1-④)	5.4	7.7	0.5	都市部	下水道放流	生活排水A	5.4	7.4	0.5	
	都市部	直接排水	生活排水B	16.5	25	0.5	農集等	③×(1-⑤)	5.0	6.1	0.6	都市部	未処理(単独)	生活排水B	21.7	7.7	0.9	
	農村部	合併浄化槽	生活排水C	4.0	5	0.5	合併浄化槽	③×(1-⑥)	5.4	6.4	0.8	農村部	合併浄化槽	生活排水C	5.4	7.5	0.9	
	農村部	直接排水	生活排水D	12.5	2	0.4	単独	し尿分	③×(1-⑦)+⑧	21.7	7.9	1.0	農村部	未処理(単独)	生活排水C	21.7	9.4	1.1
	※高度処理型除去率を用いた場合				高度処理(シナリオ2、3')				高度処理(シナリオ2、3')									
	都市部	下水道放流	生活排水A	2.8	3	0.2	下水道	③×(1-④')	2.7	0.3	0.6	都市部	下水道放流	生活排水A	2.7	2.7	0.2	
	都市部	直接排水	生活排水B	16.5	25	0.5	農集等	③×(1-⑤')	2.7	0.4	0.5	都市部	未処理(単独)	生活排水B	21.7	7.7	0.9	
	農村部	合併浄化槽	生活排水C	3.0	3	0.5	合併浄化槽	③×(1-⑥')	4.1	0.4	0.4	農村部	合併浄化槽	生活排水C	4.1	4.3	0.9	
	農村部	直接排水	生活排水D	12.5	2	0.4	汲取等	③×(1-⑦)+⑧	21.7	7.9	1.0	農村部	未処理(単独)	生活排水C	21.7	9.4	1.1	

表-1 関係諸国の生活排水における汚濁負荷除去率と発生汚濁負荷原単位の設定

項目	中国、ロシア				日本				韓国					
	工場系排出負荷量=フレーム値(工業総生産額)×排水量原単位×工場排水水質にて算定する方針とする				工業出荷額×負荷量原単位にて算定する方針とする。				工場系排出負荷量=フレーム値(工業総生産額)×排水量原単位×工場排水水質にて算定する方針とする					
算定方法	【水質基準達成排水:工場排水A】 工業総生産額×工場排水量原単位×工場排水基準×水質基準達成率 【水質基準未達成排水:工場排水B】 工業総生産額×工場排水量原単位×工場排水水質×(1-水質基準達成率)				【供用開始区域外】 工業出荷額×工場排水水質原単位A 【供用開始区域内】 工業出荷額×工場排水水質原単位B×(1-下水道除去率)									
	工場排水水質(mg/L)				出荷額当たり負荷量原単位(g/日/百万円)				工場排水水質(mg/L)					
工場排水水質原単位 (mg/L)又は(g/日/百万円)	水質基準達成排水	工場排水A	66.7	25	0.3	供用開始区域外	工場排水A	20~120	10~50	2~8	清流地域の場合(2000m3/日未満)	50	30.0	4.0
	水質基準未達成排水	工場排水B	200.0	26	3.0	供用開始区域内	工場排水B	280~510	20~90	2~13	A地域の場合(2000m3/日未満)	90	60.0	8.0
	【水質基準達成排水:工場排水基準】 中国環境基準二級基準濃度(CODCr)を基に設定した。 ただし、CODMnへの変換は、JICA資料を基にCODCr÷3にて想定した。 【水質基準未達成排水:工場排水水質】 JICA資料(太湖流域調査)を基に200mg/lと想定した。				日本は下水道供用開始区域内・外の汚濁負荷原単位を都道府県別に設定 【供用開始区域外】 都道府県別の上乘排水基準をもとに設定 【供用開始区域内】 下水道の除害施設基準をもとに設定 上記水質は、排水量と負荷量から想定した水質を示す。				B地域の場合(2000m3/日未満) 130 60.0 8.0 特別地域の場合(2000m3/日未満) 40 60.0 8.0					
									韓国における排水規制値は、地域区分(清流地域、A地域、B地域、特別地域)に応じて定められており、その地域区分は行政区単位に設定されている。 *本調査では、行政区ごとの代表的な地域区分を調査し、設定した。					

表-2 工場排水負荷量算定方法及び工場排水水質

項目	中国、ロシア				日本				韓国			
算定方法	家畜系排出負荷量=フレーム値(家畜頭数)×発生負荷量原単位×排出率にて算定する方針とする											
フレーム値	中国は以下のフレーム値(家畜)を調査した。 大牧畜(牛、馬)、豚、羊				日本は以下のフレーム値(家畜)を調査した。 牛、豚				韓国は以下のフレーム値(家畜)を調査した。 乳牛、韓牛、馬、豚、鹿、家畜			
発生汚濁負荷量原単位 (g/頭・日)		COD	T-N	T-P		COD	T-N	T-P		COD	T-N	T-P
	畜産A(大牧畜)	65.06	108.77	0.30	牛	530	290	50	乳牛	530.0	161.8	56.7
	畜産B(豚)	8.38	14.06	3.00	豚	130	40	25	韓牛	530.0	116.8	36.1
	畜産C(羊)	3.28	6.25	25.00	【出典:流総指針】 「流総指針」では農林省畜産局資料等をもとに設定している。				馬	530.0	77.6	24.0
	【出典:中華人民共和国太湖水環境管理計画調査 (JICA) 中華人民共和国太湖水環境管理計画調査 (JICA)では、中国の資料に基づき、原単位を設定している。				豚				豚	130.0	27.7	12.2
				鹿				鹿	10.0	5.8	0.9	
				家畜				家畜	3.0	1.1	0.4	
【出典:水系汚染総量管理指針(国立環境研究所)】 ただし、CODは日本の原単位を採用												
排出率		COD	T-N	T-P		COD	T-N	T-P		COD	T-N	T-P
	畜産A(大牧畜)	2.9%	4.2%	1.3%	牛	2.9%	4.2%	1.3%	乳牛	2.9%	4.2%	1.3%
	畜産B(豚)	3.8%	6.0%	3.7%	豚	3.8%	6.0%	3.7%	韓牛	2.9%	4.2%	1.3%
	畜産C(羊)	3.8%	6.0%	3.7%	【出典:流総指針】 排出率は、湖沼水質保全計画(牛:13箇所、豚:12箇所の平均値)を採用				馬	1.0%	1.9%	2.9%
	中国の排出率は、日本と同等とした(羊は豚を採用)				豚				豚	3.8%	6.0%	3.7%
				鹿				鹿	1.0%	1.9%	2.9%	
				家畜				家畜	10.0%	10.0%	1.3%	
【出典:流総指針】 日本の排出率を採用(鹿は馬を採用)												

表-3 畜産排水負荷量原単位及び排出率

項目	中国、ロシア				日本				韓国			
算定方法	面源系排出負荷量=フレーム値(土地利用面積)×発生負荷量原単位にて算定する方針とする											
フレーム値	中国は以下のフレーム値(土地利用面積)を調査した。 山林、水田、畑、市街地				日本は以下のフレーム値(土地利用面積)を調査した。 山林、水田、畑、市街地				韓国は以下のフレーム値(土地利用面積)を調査した。 山林、水田、畑、市街地			
排出汚濁負荷量原単位 (kg/ha・年)		COD	T-N	T-P		COD	T-N	T-P		COD	T-N	T-P
	山林	20.7	4.2	0.17	山林	20.7	4.2	0.17	山林	41.4	8.0	0.50
	水田	42.9	11.0	1.30	水田	42.9	11.0	1.30	水田	128.7	34.5	0.90
	畑地	19.1	32.2	0.36	畑地	19.1	32.2	0.36	畑地	19.1	23.9	2.20
	市街地	51.1	12.1	0.81	市街地	51.1	12.1	0.81	市街地	204.4	50.0	7.70
中国の原単位は、日本と同等とした。				【出典:流総指針】 湖沼水質保全計画(11箇所の平均値)を採用				【出典:水系汚染総量管理指針(国立環境研究所)】 ただし、CODは次頁参照				

表-4 面源系汚濁負荷量原単位

### 3.1.5 陸域からの汚濁負荷モデル計算で用いた負荷量算定手法及び補正計算手法

構築した汚濁負荷モデルでは、原単位法の計算手法に従って、各排出源のフレーム値(人口等)に排出源毎の原単位を乗じて排出負荷量を算出し、生活系・工場系など各排出源からの排出負荷量を足し合わせて総排出負荷量として算出する。例えば、人為系負荷量の算出については、

$$[\text{生活系負荷量}] = [\text{人口(都市部、農村部で区別)}] \times [\text{負荷量原単位}]$$

という計算を行う。面源系負荷量については、例えば山林であれば、

$$[\text{面源系負荷量(山林)}] = [\text{土地利用面積(山林)}] \times [\text{負荷量原単位}]$$

という計算を行うこととなる。

また、陸域から海域への年間の流達負荷量についての考え方は、日本、韓国、ロシアにおいては日本の閉鎖性水域を扱う事例の考え方に倣い、陸域に排出された負荷量が1年を通じて全て海域に流出する、すなわち年間流達率=1.0として海域への年間流達負荷量を算出している。一方、流域が広大で気象条件や利水状況等が他国と異なる中国に於いては、日本・韓国・ロシアで設定した年間流達率=1.0の仮定を適用せず、農業利用など利水による負荷の消失率及び、降水量の河川への流出率を考慮して海域への流達負荷量を算出した。(図-7, 図-8)

算出した年間の流達負荷量については、後述する海洋海流シミュレーションモデルの解析に用いるが、解析に用いる際に年間の流達負荷量を四季別ごとに再配分する必要がある。本研究では、四季別流達負荷量は、対象流域の年間降雨量に対する四季別降雨量の割合をもって、年間流達負荷量に乗じることで、四季別流達負荷量とした。(図-8, 図-9)その他の補正計算として、日本・韓国・ロシアにおいては、面源系汚濁負荷量について各流域の年間降雨量に応じて補正計算を行っている。補正計算にあたっては、面源系(山林、水田、畑地、市街地)の流出率と年間降雨量間において本研究で作成した以下の相関式を用いた。(図-10)

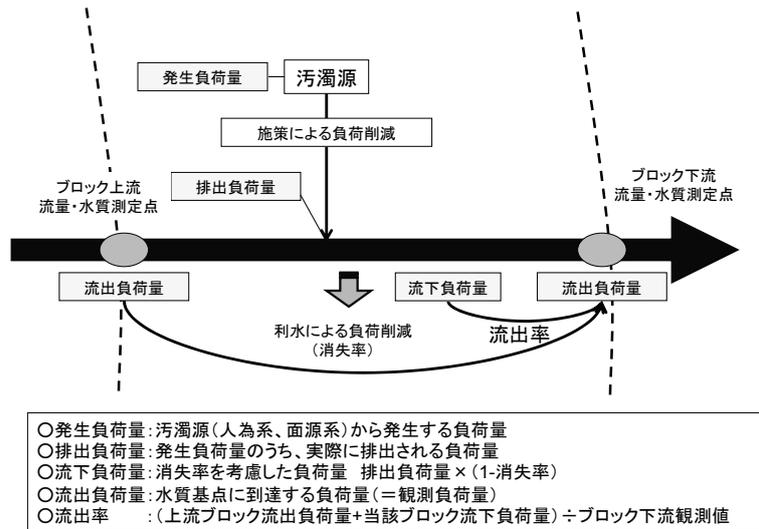


図-7 負荷量計算の考え方

**【年間流達負荷量の考え方】**

○日本・韓国・ロシア:  

$$\text{年間流達負荷量} = \text{年間排出負荷量} \times \text{流達率}(1.0)$$

○中国:  

$$\text{年間流達負荷量} = \text{年間排出負荷量} \times \{ 1 - (\text{観測地点より上流の利水(地表水の農業用水利用等)による負荷量消失率}) \} \times \text{降水量の河川への流出率}$$

**【四季別流達負荷量の考え方】**

$$\text{四季別流達負荷量} = \text{年間流達負荷量} \times \text{四季別降雨量} / \text{年間降雨量}$$

図-8 年間流達率の考え方および四季別流達負荷量の考え方

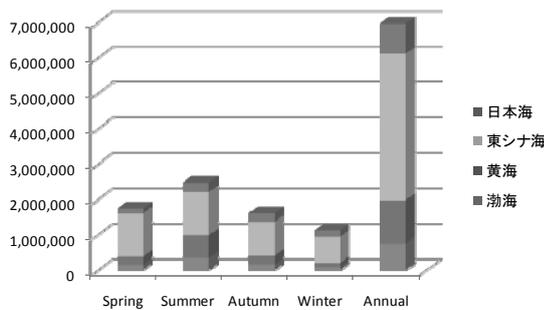
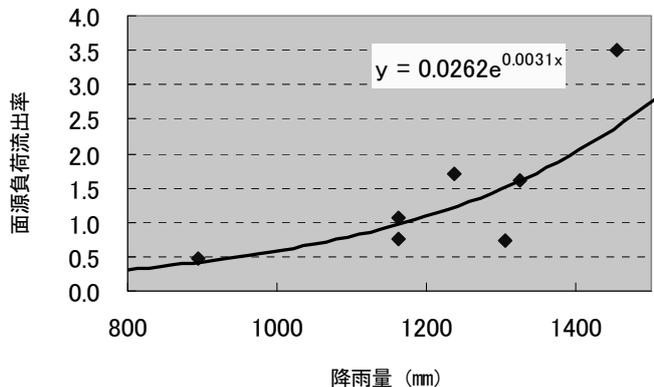


図-9 四季別流達負荷量の考え方



{  $y = 0.0262e^{0.0031x}$  (  $x$ =流域別年間降雨量(mm),  $y$ =面源負荷流出率) } (相関係数  $R^2=0.681$ )

図-10 面源系負荷量流出率と降雨量の関係

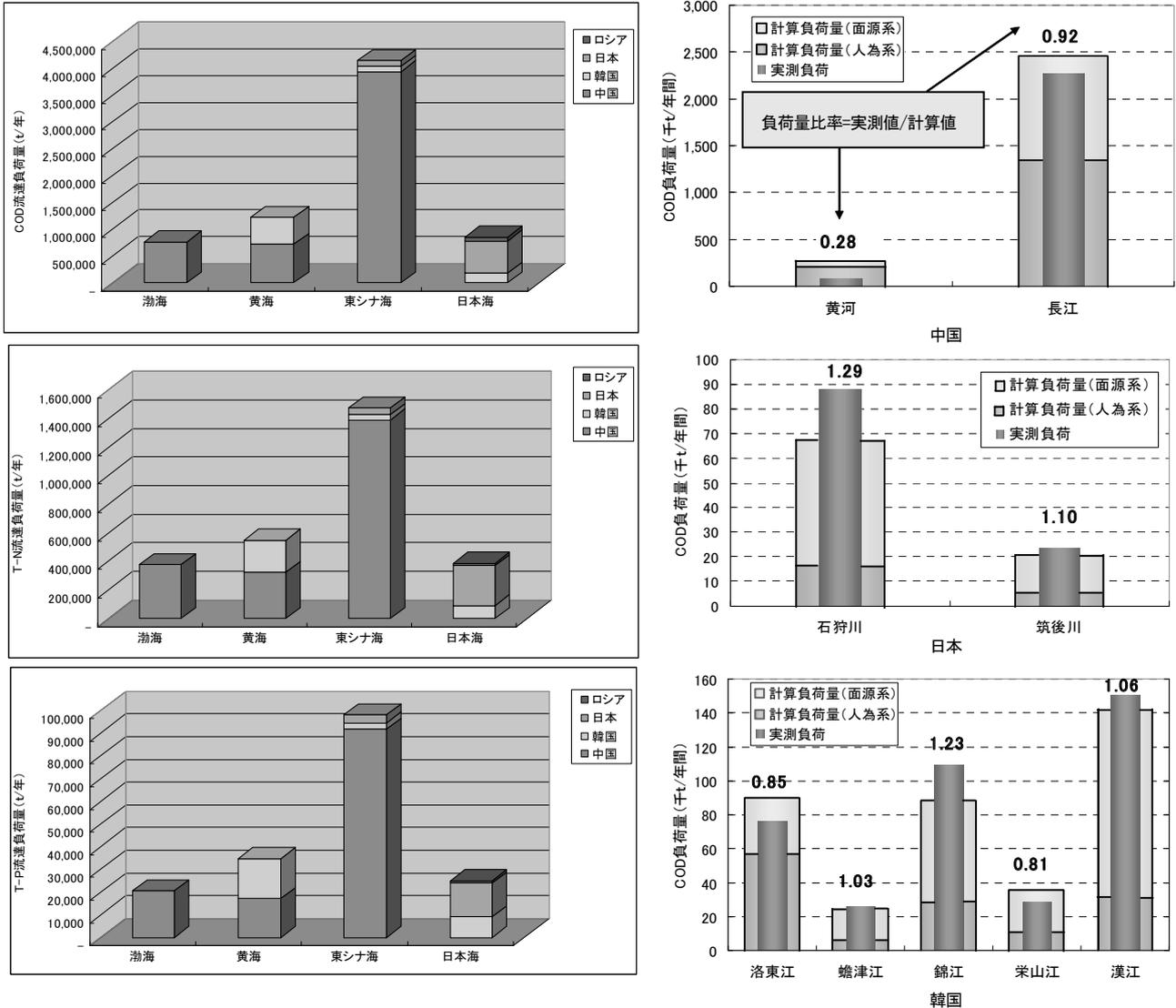
### 3.2 陸域からの汚濁負荷モデルを用いた汚濁負荷量算出結果

上記の計算手法並びに補正計算を用いて、現況年(2005年)時における日本・中国・韓国・ロシアの陸域からの汚濁負荷量を計算し、海域別の流達負荷量を整理したものを、図-11に示す。

また、主要河川の流量及び水質(COD濃度)の観測ポイントデータが、年間を通じて公表されていた中国・韓国・日本においては、最下流観測ポイントにおける観測負荷量(流量×水質(COD))と、同最下流ポイントまでに汚濁

負荷モデル上で算出される流達汚濁負荷量との比較を行った。図-12 にその比較結果を示す。

負荷量の比率を [負荷量比率] = [実測値] / [計算値] としているが、黄河の 0.28 を除いて、長江及び日本、韓国の各河川に於ける負荷量比率は概ね 0.8 (0.81) から 1.3 (1.29) までの値で算出された。中国の算出結果は、河川の利水による消失率や面源系負荷の補正計算を考慮したものであったが、流域特性の特異性が主要原因と考えられるが、黄河での実測値と計算値の比率は補正計算後でも 4 倍近い乖離が見られた。



(左) 図-11 現況年 (2005) 時における海域別汚濁負荷排出量

(右) 図-12 河川別の実測負荷量と計算負荷量の比率 (COD)

### 3.3 経済成長等を考慮した将来シナリオの設定及び将来シナリオ時の汚濁負荷流出量について

#### 3.3.1 経済成長等を考慮した将来シナリオの設定について

各国における将来の汚濁負荷排出量を把握するため、経済成長 (汚濁負荷流出量増加) 及び下水道等整備 (汚濁負荷削減) を考慮した、将来シナリオを表-5 の通り設定した。

将来シナリオの目標年次は 2005 年を現況年として、2030 年を設定しており、人口や工業総生産などの各種フレーム値の将来値については世界の統計 (総務省統計局) <sup>11)</sup> の値や、(社) 日本経済研究センターが予測している GDP

の値<sup>12)</sup>を採用した。中国の人口、中国及び韓国のGDPについては、2030年まで顕著な増加を予測している。

また、家畜頭数や土地利用面積等の面源系負荷に関する値は、将来時においても現況年（2005年）時と同じ値としている。

将来シナリオ	シナリオ内容	都市部		農村部	
		標準法	高度処理	標準法	高度処理
シナリオ1	現状維持	—	—	—	—
シナリオ2	都市部において下水道等（標準法）の施策を行う場合 （2030年度までに標準法による普及率が100%とする） （工場排水の規制も併せて達成する）	○	—	—	—
シナリオ2'	都市部において高度処理対応型の下水道等の施策を行う場合	—	○	—	—
シナリオ3	都市部・農村部において下水道等の施策を行う場合 （2030年度までに都市部・農村部において汚水処理率100%とする）	○	—	○	—
シナリオ3'	都市部・農村部において高度処理対応型の下水道等の施策を行う場合	—	○	—	○

表-5 経済成長等を考慮した将来シナリオ

表-6は、各将来シナリオ時における日本・中国・韓国・ロシアの2030年時の下水道等普及率を表したものである。表-6中の（高度処理）は高度処理対応型の下水道等普及率を表している。農村部における高度処理は、日本では農業集落排水における高度処理を、その他の国では高度処理型合併浄化槽を整備することを想定している。また、工場排水の施策に関しては、工場排水の規制達成率がどの国でも高い、工場のほとんどが下水道区域内にあるものと想定されるため、下水道普及率の向上に伴い、負荷量削減が図れると考えられることから、施策の進捗に伴うシナリオは設定しないこととした。また、面源系負荷削減や海域での汚濁負荷削減対策についても今回は考慮しないこととした。

		シナリオ1	シナリオ2	シナリオ2'	シナリオ3	シナリオ3'
中国	都市部	63%	100%	(高度処理) 100%	100%	(高度処理) 100%
	農村部	0%	0%	0%	100%	(高度処理) 100%
日本	都市部	81%	100%	(高度処理) 100%	100%	(高度処理) 100%
	農村部	61%	61%	61%	100%	(高度処理) 100%
韓国	都市部	95%	100%	(高度処理) 100%	100%	(高度処理) 100%
	農村部	0%	0%	0%	100%	(高度処理) 100%
ロシア	都市部	15%	100%	(高度処理) 100%	100%	(高度処理) 100%
	農村部	15%	15%	15%	100%	(高度処理) 100%

表-6 各将来シナリオ時における各国の下水道等普及率

### 3.3.2 将来シナリオを考慮した汚濁負荷流出量

汚濁負荷モデルを用いて算出した、現況及び将来シナリオ時における各国の汚濁負荷排出量（COD、T-N、T-P）は図-13から図-16の通りとなった。なお、各シナリオの計算結果は2030年のものである。

各国とも、高度処理導入により、T-NとT-Pの増加を抑制することができた。特に中国と韓国においては、人口増や経済成長にも関わらず、現況と比べてT-N、T-Pの増加を抑制することができた。

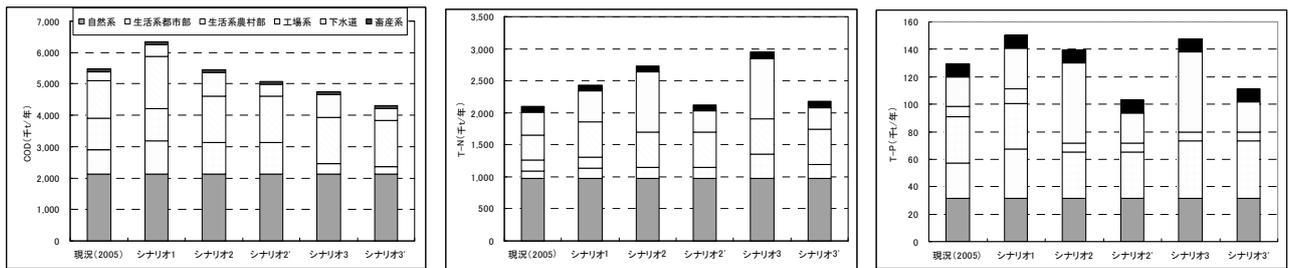


図-13 中国における現況及び各シナリオ時の汚濁負荷量 (COD、T-N、T-P)

(棒グラフ：下より自然系～畜産系)

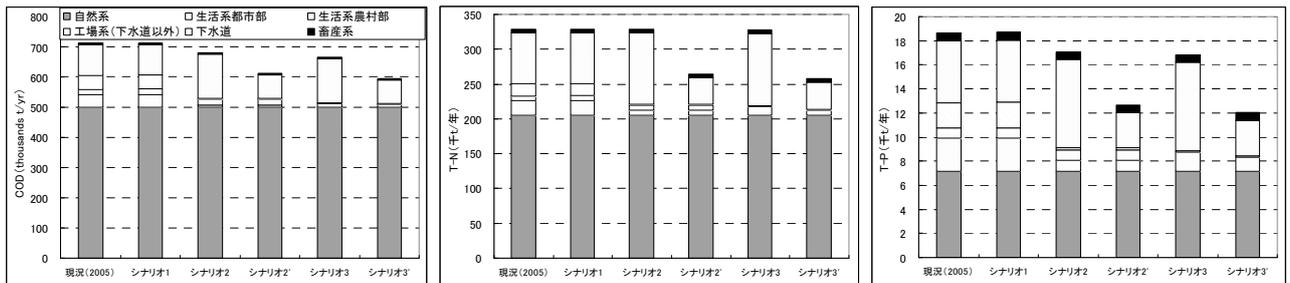


図-14 日本における現況及び各シナリオ時の汚濁負荷量 (COD、T-N、T-P)

(棒グラフ：下より自然系～畜産系)

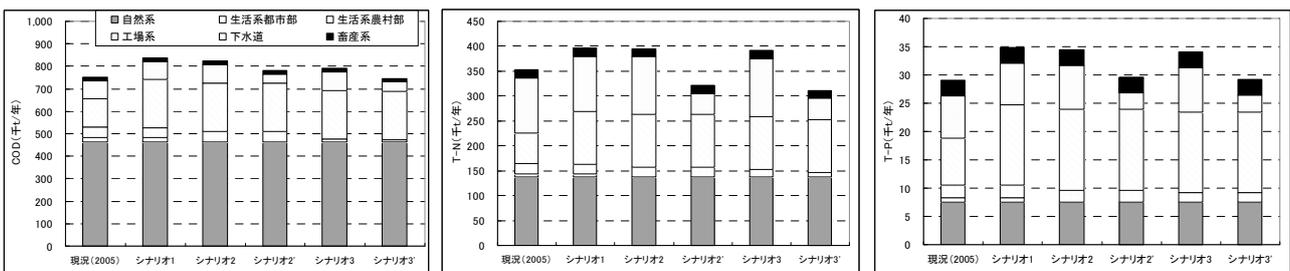


図-15 韓国における現況及び各シナリオ時の汚濁負荷量 (COD、T-N、T-P)

(棒グラフ：下より自然系～畜産系)

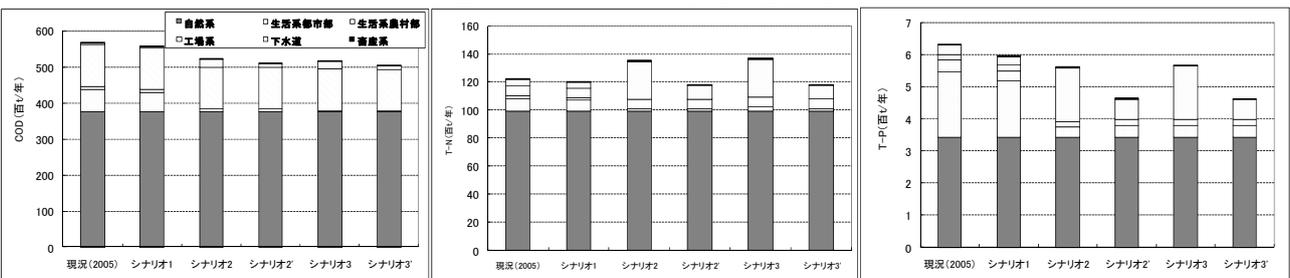


図-16 ロシアにおける現況及び各シナリオ時の汚濁負荷量 (COD、T-N、T-P)

(棒グラフ：下より自然系～畜産系)

中国を個別に見ると、シナリオ3及び3'において、COD排出量を現状程度以下に抑えることができ、下水普及率の向上がCOD削減に効果的であることが示唆された。しかし、T-N、T-Pについては、シナリオ3での排出量がシナリオ1及び2での排出量より増加する結果となった。これは今回収集した原単位では農村部での便所の水洗化に伴いし尿が全量くみ取られないことにより、排出汚濁負荷量が増加するのに対して、浄化槽でのT-N、T-Pの除去率が42%、38%に留まることが主原因となっている。

また、汚濁負荷モデルの将来シナリオ別算出結果より、日本・韓国では高度型下水処理の推進、並びに面源系汚濁負荷対策などの対策が、ロシアでは都市部での汚水処理施設の整備推進が、それぞれの国において負荷量削

減を図るために効果的な対策であることが示唆された。

#### 4. 海洋海流シミュレーションの構築手法並びに計算結果

##### 4.1 水質モデル及び流動モデルの構築について

前節までに記述したとおり、算出された陸域からの汚濁負荷量を用いて、日本近海上の海洋汚染の再現と将来予測を行うため、別途、海洋海流シミュレーションモデルを構築した。本研究では海洋海流シミュレーションモデルについて、水質モデルと流動モデルの2種類のモデルを構築している。2008年度に収集した情報を元に、水質モデルについては諸外国の経済活動や下水道等社会基盤整備の変化による海域への負荷量変化を適切に表現することができる、「低次生態系モデル」を適用することとした。なお、光合成による植物プランクトンの増殖もモデルに含まれている。

図-17に低次生態系モデルの概念図を示す。

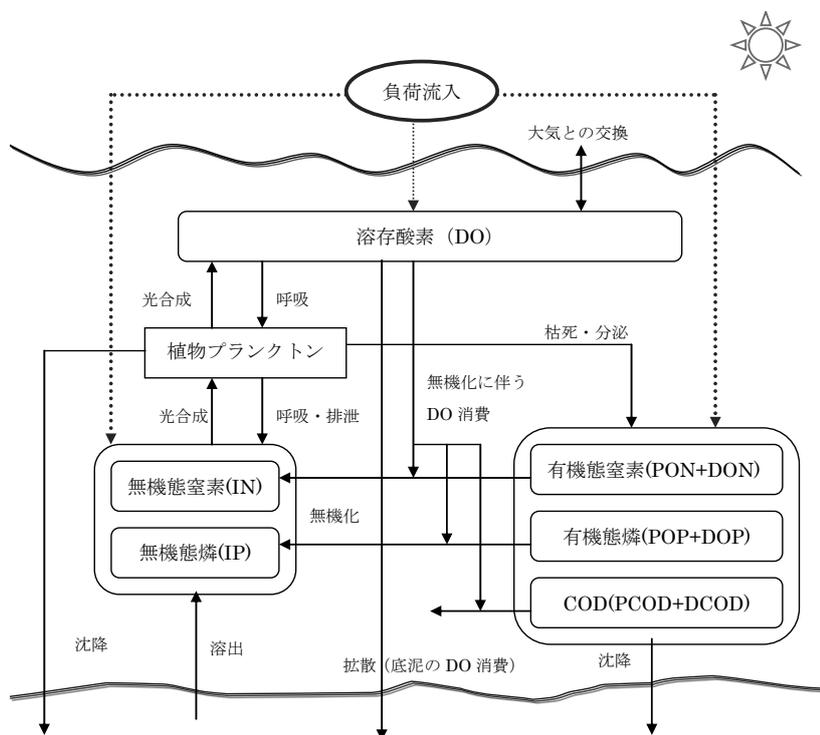


図-17 水質モデル(低次生態系モデル)の概念図

流動モデルについては、本研究の対象海域（渤海、黄海、東シナ海、日本海）の特徴・流動機構を考慮して以下の4つの因子を考慮できるモデルを選定することとした。

- ① 潮流（潮汐による水位昇降に伴う流れ。）
- ② 密度流（密度の低い淡水と密度の高い海水の密度差に伴って生じる流れ。）
- ③ 吹送流（海面を吹く風によって生じる流れ。）
- ④ 海流（黒潮や親潮など広いスケールで生じる海水の流れ。）

日本国内を代表する東京湾や大坂湾、伊勢湾などの内湾域では、潮流や密度流、風による吹送流などが水質の長期的な広がり重要な役割を果たしている。一方、本研究で対象とする海域は、これら国内の内湾に比べ、空間スケールがはるかに大きい。このため、潮流の役割に比べて、黒潮による海流や長江の淡水流入に起因する密度流、風による吹送流などが主要な流動となっている。

以上のことから、密度流、吹送流、海流の効果を考慮出来る流動モデルとして、Mellor.et.al(2002)<sup>13)</sup>及び Ezer and Mellor(2004)<sup>14)</sup>により研究開発された鉛直方向に座標変換を施したモデルを利用することとした。

詳細な説明はここでは省略するが、座標変換を行うと鉛直方向の格子分割は図-18 のようなものとなる。

なお、先に記述した水質モデルについても同様の座標変換モデルを用いている。

また、水平格子の間隔は、図-19 に示す範囲で 40km 間隔に設定している。鉛直方向には $\sigma$ 座標系（シグマ座標系）を用いて、海面から鉛直方向に全体で 20 層になるように分割している。（図-21）

流動モデルで用いた境界条件は、海流の流速、水位、塩分、水温を用いており、株式会社フォーキャスト・オーシャン・プラス（FOP:Forecast Ocean Plus）<sup>15)</sup>が提供する海洋同化データを境界条件として利用した。

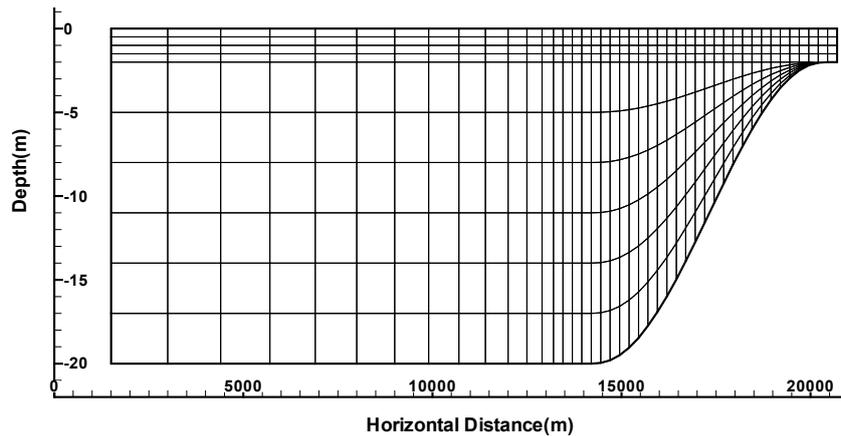


図-18 一般鉛直座標モデルの鉛直格子分割の例

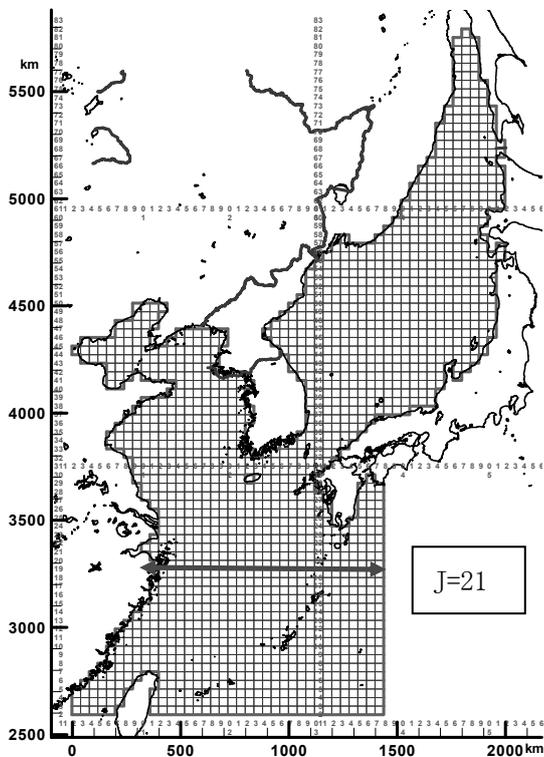


図-19 流動モデルで採用した水平格子分割

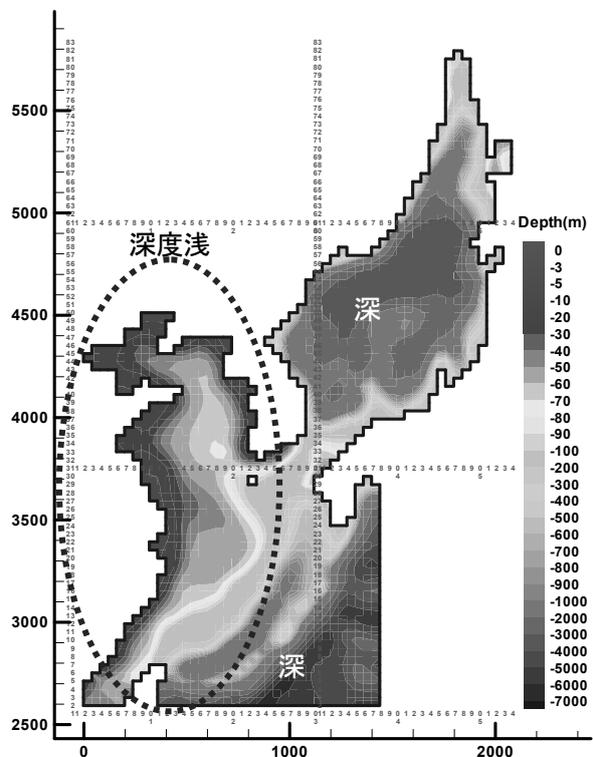


図-20 計算に用いた水深データ

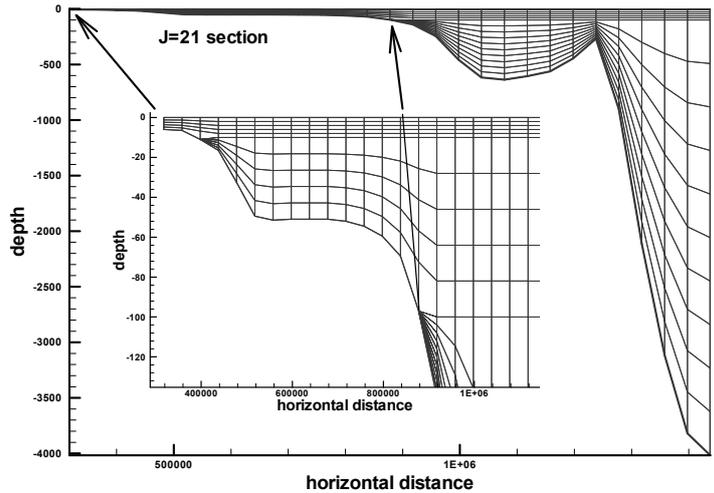


図-21 流動モデルで採用した鉛直方向格子分割（図-19 中 J21 の位置を示している）

#### 4.2 構築したモデルを用いた流動計算・水質計算

構築した流動計算モデルを用いて、実際に水温を計算したものが図-22（右側）となる。人工衛星（JAXA より入手した MODIS データ<sup>16)</sup>）により得られた 2005 年の 1 ヶ月平均値と計算結果の平均値とを比較すると、計算結果と衛星データは全般的に特徴がよく似ていると言える。また、水質計算においてもクロロフィル-a と衛星データ (MODIS) の比較を行った。衛星データには河川由来の有色溶存有機物や底泥の巻き上げなどがデータに含まれているため、特に降雨と河川流量が多くなる夏季におけるクロロフィル a の濃度について整合性が悪くなり、計算結果との直接の濃度比較は難しい面がある。しかし、それ以外について計算結果は概ね衛星データの特徴を表現していると言えた。(図-23)

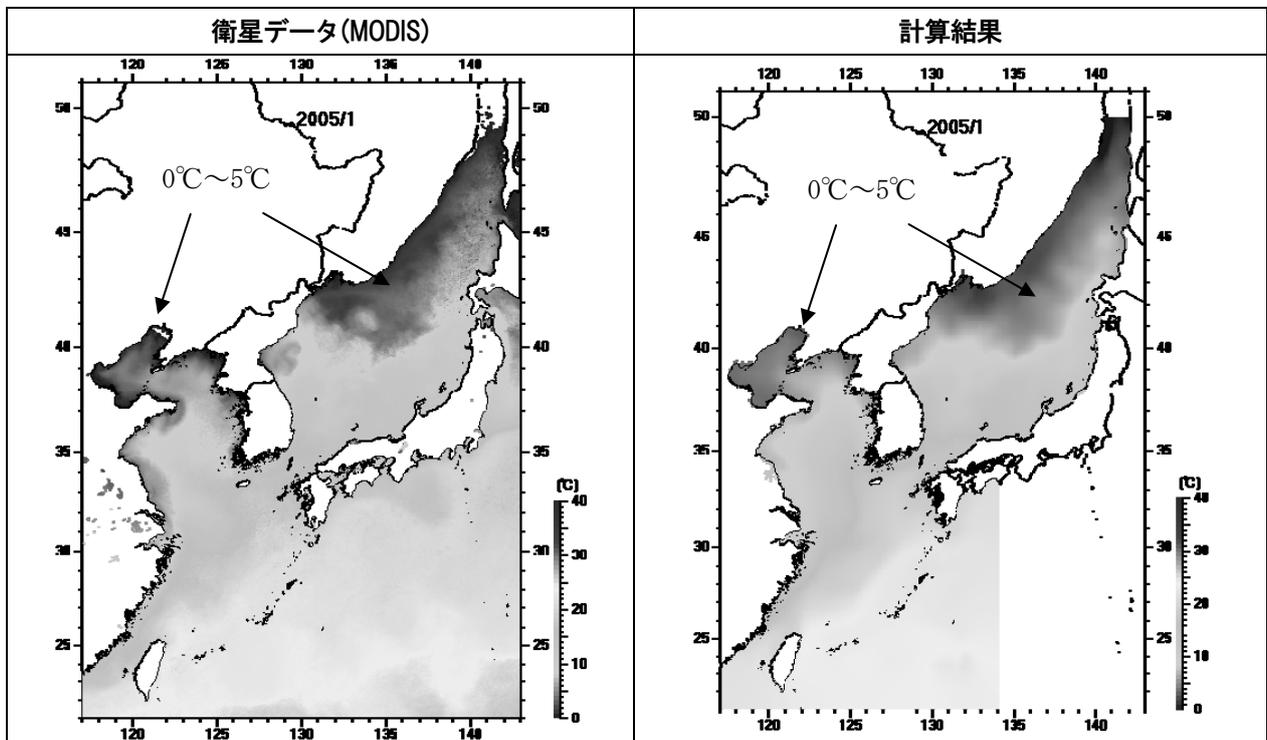


図-22 衛星データとモデルによる計算値の比較例（水温）（2005 年 1 月）

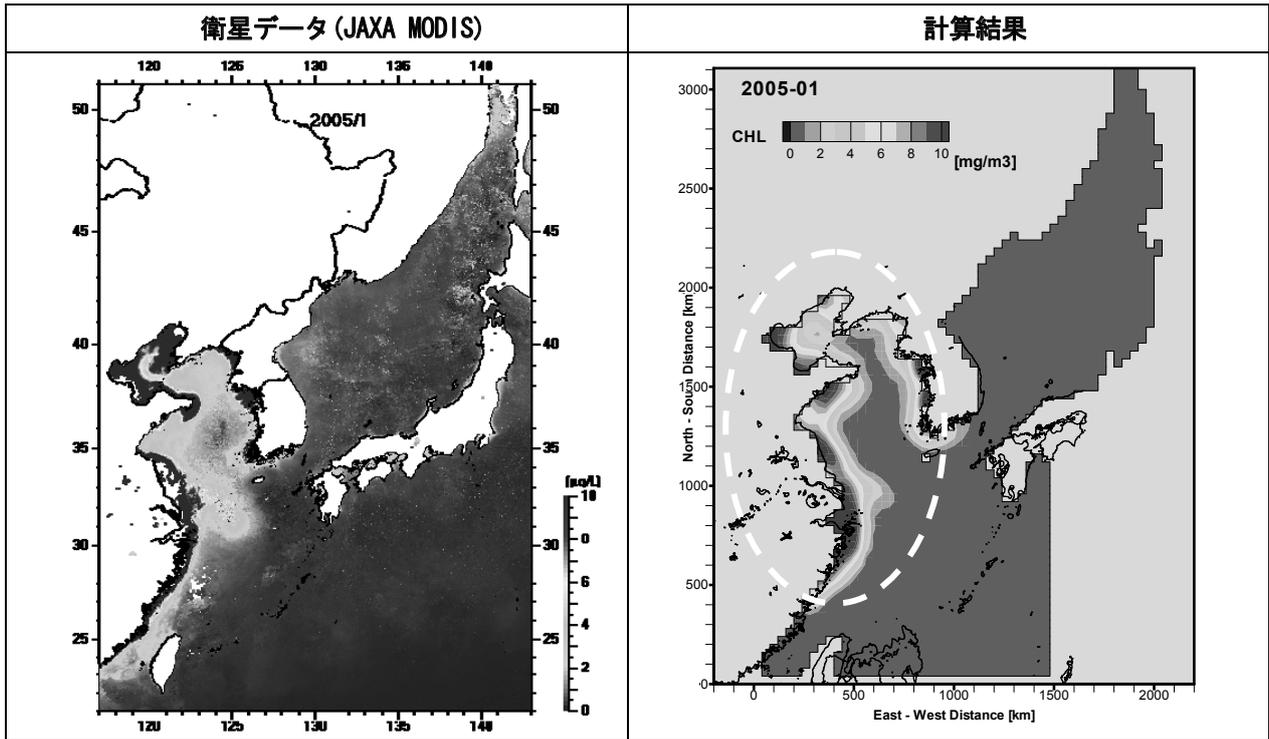


図-23 衛星データとモデルによる計算値の比較例（クロロフィル-a）（2005年1月）

#### 4.3 将来シナリオに基づく陸域からの汚濁負荷排出量を踏まえた海洋上の汚濁負荷量の変化

海洋汚染の再現にあたっては、前節で算出した陸域からの汚濁負荷量を主要河川の河口付近、または沿岸部の主要都市部上の水平格子に入力値として与え、流動モデル計算、水質モデル計算を行っている。将来シナリオ（経済成長シナリオ・下水道等整備シナリオ）についても前述で説明した5つの将来シナリオを用いて計算を行った。

陸域からの負荷量の変化について評価するため、各国の主要な河川の河口部における水質濃度の変化をとりまとめた。濃度をピックアップした場所は図-24に示している9か所である。

図-24で示したポイントについて、2030年の各シナリオ計算における沿岸部の年平均濃度変化を図-25に示す。図中“-01”は表層（分割した鉛直20層の内、一番上層）を、“-05”は第5層目（分割した鉛直20層の内、一番上から5層目）（概ね10m深）の結果を表している。

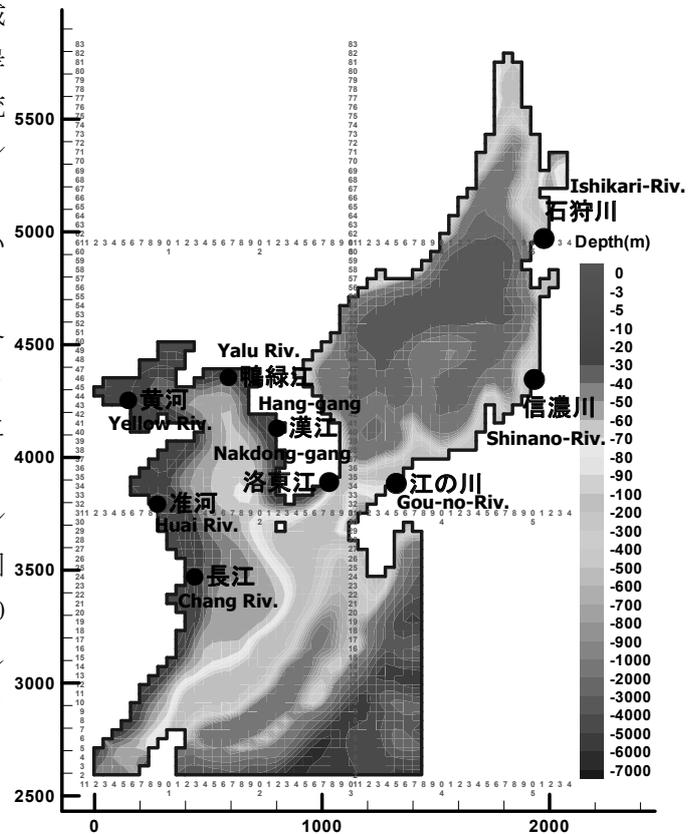


図-24 シナリオ評価のために濃度比較を行った場所

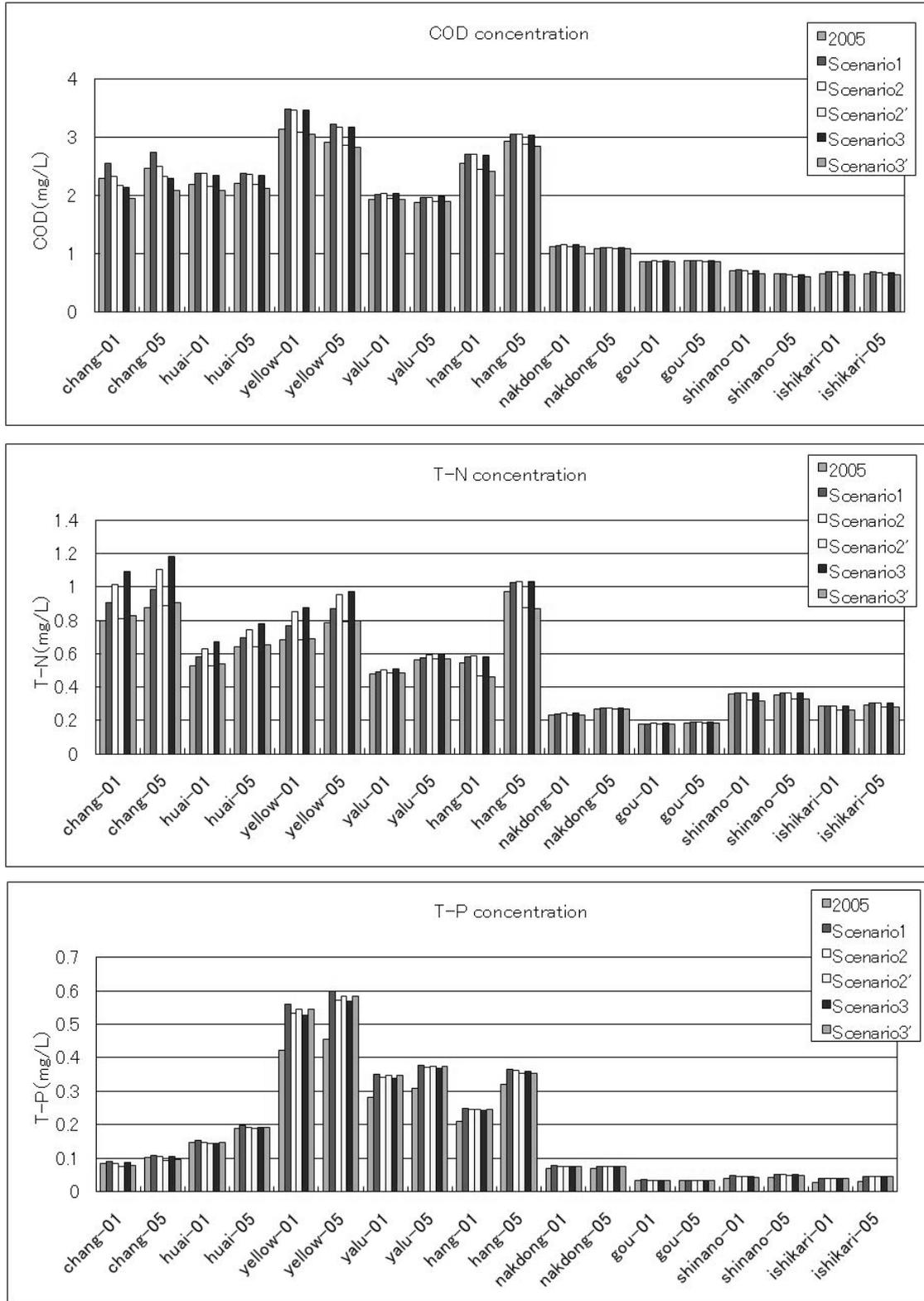


図-25 2030年の各シナリオ計算における沿岸部の濃度変化（年間平均）（COD、T-N、T-P）

図-26、図-27は、2005年と2030年時の各シナリオ計算における第1層（表層）の水質濃度（COD）の分布を平面図で示したものである。図-26と図-27を比較すると、例えば、シナリオ1とシナリオ2'、シナリオ3'の比較した場合に、特に渤海周辺でシナリオ別の対策効果が現れていることが分かる。

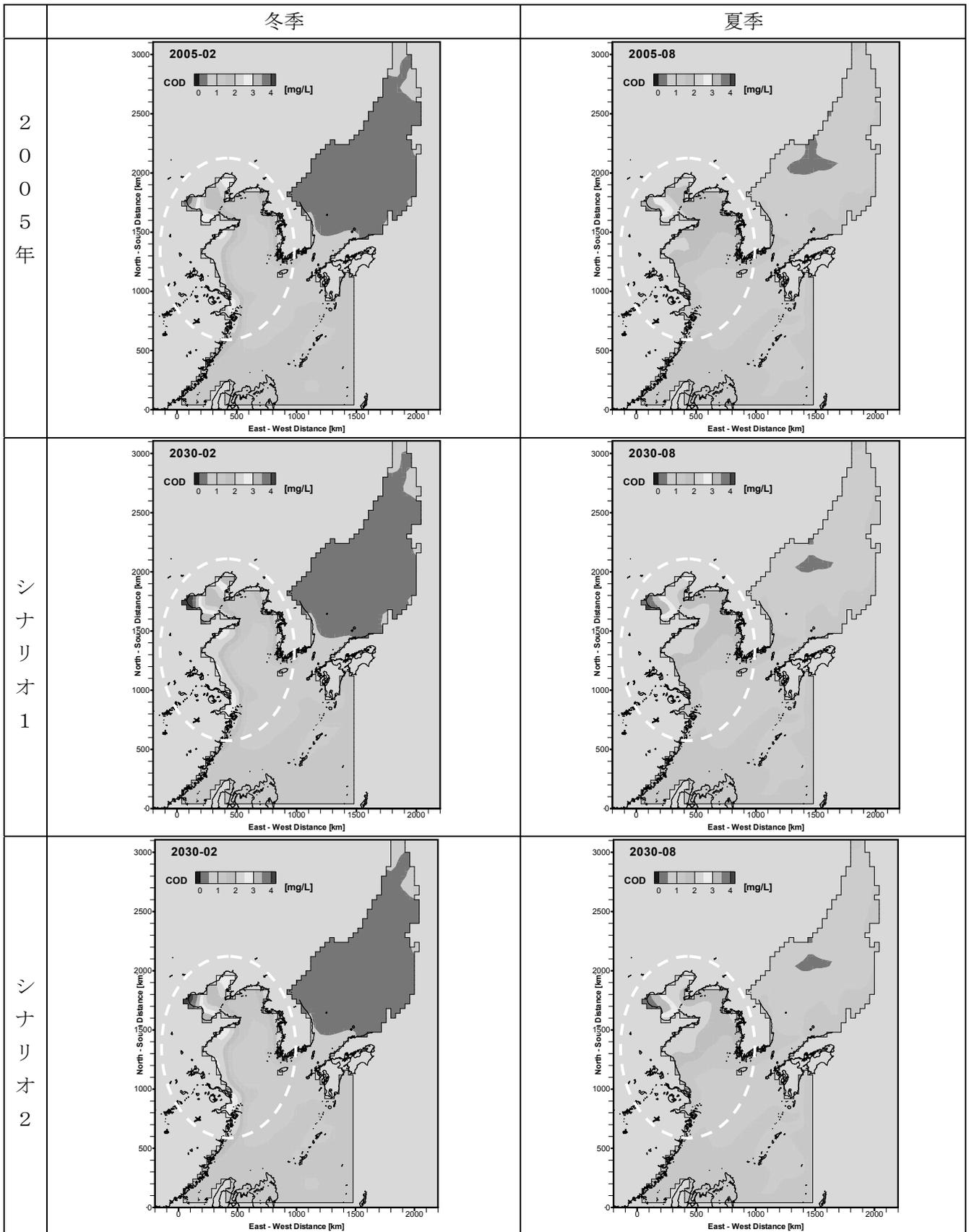


図-26 水質濃度分布（第1層）（2005年、2030年のシナリオ1、シナリオ2、COD）

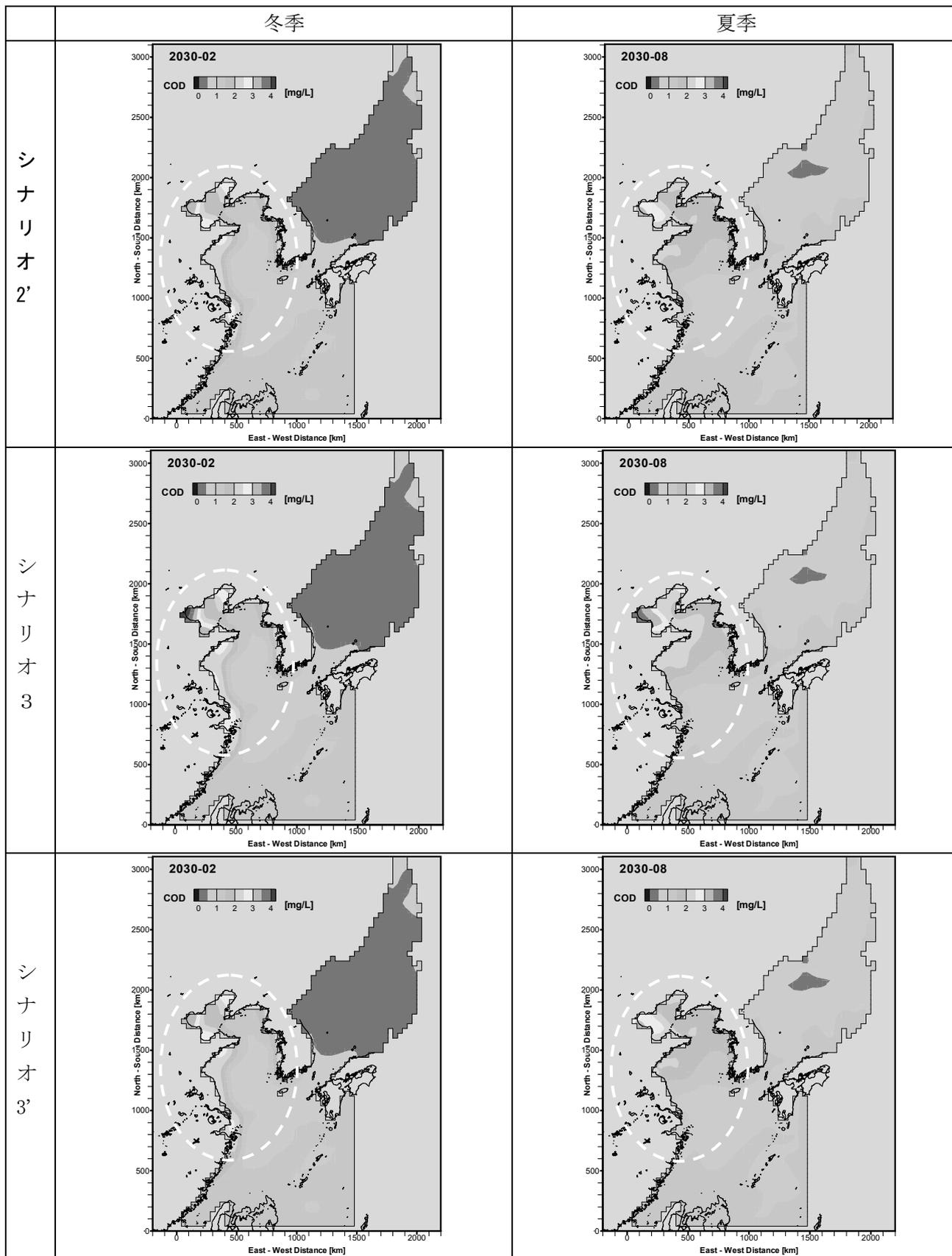


図-27 水質濃度分布（第1層）（2030年のシナリオ2'、シナリオ3、シナリオ3'、COD）

海洋海流シミュレーション計算は図-25 から図-27 に挙げた他にも様々な解析をしている。海洋海流シミュレーションに関する検討結果の概要を以下に示す。

- ① 特に負荷量が多い中国と韓国の沿岸部においては汚濁負荷流入の影響を受けやすく、水質面での悪化傾向が顕著にみられた。また、高度な対策を行うシナリオでは、特に COD について、沿岸部の水質悪化を抑制する傾向が見られた。
- ② 海域における植物プランクトンによる内部生産を考慮したモデル（低次生態系モデル）を構築していることより、下水道整備等の水質環境保全対策によって COD 負荷量を減少させても、必ずしも海域 COD 濃度が減少するとは限らず、窒素とリンの負荷量バランスによっては内部生産が活発化し、海域での COD 濃度が上昇する場合があった。
- ③ 海域での内部生産を考慮したことより、COD については、植物プランクトンの生産が活発な春～夏季にシナリオ間の水質濃度差が大きく見られ、冬季にはシナリオ間の水質濃度差は小さい傾向を示した。
- ④ 同一国内であっても、上流域の土地利用状況や都市化の状況及び河口が位置する海域の状況等によって、河川と河口部の水質環境とそのメカニズムが異なり、その結果同じように汚濁負荷量を低減しても河口部の水質濃度変化の傾向が異なることから、水質保全対策を検討する際には各河川の状況を考慮する必要がある。

海洋海流シミュレーション結果からも見て取れるように、現状維持の水質保全対策となるシナリオ 1 のケースよりも、より高度な水質保全対策をとるシナリオ 3 等のケースの方が、日本近海における水質悪化を抑制していることが本調査から明らかとなった。

一方、陸域からの汚濁負荷量の増減による日本近海の水質環境への影響を予測する海洋海流シミュレーションモデルにおける課題としては、現状把握計算における対象年次の検証用の水質データの収集が困難であったことがあげられる。

## 5. 過去 3 箇年に開催した国際会議等の概要

本研究を進めるにあたり、陸域からの汚濁負荷シミュレーションモデル並びに海洋海流シミュレーションの構築手法などの詳細について、日中韓露の研究者らと定期的に意見交換を行いながら手法の妥当性を確認してきた。また、同時に海外における汚濁負荷流出などの情報の収集、海外の先生の意見を踏まえたモデル計算手法の修正などを行ってきた。

本研究に係わった日中韓国の中心的な研究者らは具体的には、北九州市立大学大学院の楠田哲也 (KUSUDA Tetsuya) 教授（日本）、ソウル市政開発研究院の金甲守 (KIM Kap-Soo) 前前任研究委員（韓国）、清華大学の杜鵬飛 (DU Pengfei) 准教授（中国）、同済大学の李光明 (LI Guangming) 教授（中国）、ロシア科学院太平洋地理学研究所のウラジミールシュルキン (Vladimir Shulkin) 所長（ロシア）である。

2008 年度、2009 年度、2010 年度それぞれ年一回ずつ上記の研究者らを日本に招待し国際会議等を開き、各国における陸域からの汚濁負荷対策等を議論し、意見交換を行った。また、我々の研究で進めている調査手法についても各国際会議等の中で、有益なコメントを多数頂いた。

2008 年度は、京都大学と共催で京都大学 百周年時計台記念館 国際交流ホールにて国際シンポジウムを開催した。この時の参加者は約 120 名である。2009 年度は、東京都内、芝パークホテルで国際会議を行った。2010 年度は東京都内、東京ベイ有明ワシントンホテルで国際会議を開催している。

図-28、図-29 は、2011 年 2 月 9 日に東京ベイ有明ワシントンホテルで開催した国際会議の際の様子である。

2011年2月9日の会議の場では、3箇年の研究の調査結果の概要を各先生方に発表した。具体的には関係諸国陸域からの汚濁負荷流出モデルの構築手法とその計算結果、ならびに海洋海流シミュレーションの構築手法とその計算結果などについて日本側から説明を行った。会議の場では、海外の先生方からも我々の調査手法、計算結果について、過年度からの修正が加わっていることを確認いただき、調査の中で得られたデータの範囲では適切な解析手法・計算結果であるというコメントをいただいている。



図-28 国際会議の様子



図-29 国際会議出席者

## 6. 関係諸国間の研究パートナーシップの概要

本研究では、陸域からの汚濁負荷モデルと海洋海流シミュレーションを用いて、日本近海に流入する汚濁負荷量及びその挙動の予測を行い、所定の成果は得られたが、調査を進めていくにあたり常に課題となったのが、解析の拠り所となる水質・水量等のモニタリングデータの収集及びその信頼性の確保である。

各国毎に、水質モニタリング等の収集方法も違えば、収集時期も異なるため、データを日中韓露の4カ国で統一して解析に用いることは非常に困難であった。

本研究で開発した手法を用いて、日本近海における海洋環境の保全を推進していくためには、日中韓露の4カ国が継続的に水量・水質モニタリングデータを収集していくことはもちろんのこと、4カ国がそれぞれ収集した水量・水質モニタリングデータを共有していくことが重要である。このことは、国際会議に出席いただいた海外の先生方からも指摘を頂いているところである。

これらの問題意識を踏まえ、2011年2月9日に行った国際会議では、日中韓露の研究者同士による日本近海海洋環境保全のための研究パートナーシップの具体的なアクションプランとして、各国が保有する日本近海の水質モニタリングデータを継続的に共有していくことについて議論した。招待した先生方からは、その趣旨についてそれぞれ了承をいただき、図-32に示す合意文書に署名をいただいた。(図-30、図-31)



図-30 合意文書への署名



図-31 合意文書への署名

合意文書に記載された文書は以下の通りである。

### 日本近海における海洋環境の保全に関する調査研究について

これまで、我々は、2009年に国際シンポジウム、2010年と2011年に国際ワークショップを開催し、日本近海における海洋環境保全のための知見の集積に努めてきた。

その結果、各国陸域からの汚濁負荷量の把握、将来予測に基づく海洋海流シミュレーションの実施を通じて、日本近海における海洋環境保全のための分析ツールを共有することができた。また、その分析ツールを用いることで、将来シナリオ別の汚濁負荷削減対策効果が明らかになった。

今後において、我々は、日本近海における海洋環境保全のため、継続的に調査研究を行い、また、日本近海の水質データ等の情報交換を2014年3月末まで行うこととする。

2011年 2月 9日

(中国) 同済大学	李 光明
(中国) 清華大学	杜 鵬飛
(韓国) ソウル市政開発研究院	金 甲守
(ロシア) ロシア科学院太平洋地理学研究所	ウラジミール・シュルキン
(日本) 北九州市立大学大学院	楠田 哲也
(日本) 国土交通省 国土技術政策総合研究所	榊原 隆



図-32 研究パートナーシップに関する合意文書の写し（署名省略）

## 7. まとめ

前節までで述べてきたように、日本近海における海洋環境保全の手法を検討するため、日中韓露の陸域からの汚濁負荷流出量の把握、その将来的な増減の予測、また日本近海海洋上での汚濁負荷の挙動予測について試みてきた。陸域からの汚濁負荷シミュレーションについては、日本の流域別下水道整備総合計画<sup>8)</sup>で用いている考え方を基本として計算モデルを構築し、収集したデータを用いながら計算を実施した。また、GDP等の将来予測値などについて各種文献等を調べ、経済成長（汚濁負荷増加）ならびに下水道整備等（汚濁負荷削減）シナリオを設定し、2030年までの将来的な汚濁負荷の増減について把握を試みた。また日本近海における海洋海流シミュレーションモデル、具体的には流動モデルと水質モデル（低次生態系モデル）を構築し、陸域からの汚濁負荷モデルの算出結果を用いて海洋上での汚濁負荷挙動の予測を試みた。

結果、下水道整備等を各国が適切に実施することで日本近海上、特に渤海などの閉鎖性海域・また各国沿岸域において汚濁負荷の削減が見られることが判明した。また、海洋海流シミュレーションモデルを用いた日本近海の水質予測において汚濁負荷削減を行うことにより、水質悪化を抑制できることが分かった。

また、日本近海海洋上の海洋環境の改善結果の把握、ならびに汚濁負荷流出対策の推進を実施していくためにも、各国が保有する主要河川・日本近海海洋上の水質モニタリングデータについて充実を図り、またそれらのデータについて各国が共有していくことが重要であるという認識が、日中韓露の研究者間で共有された。

この問題意識を受け、2011年2月9日に、日中韓露の研究者らを招聘して行った国際会議の中で、「今後継続的に日本近海に係わる調査研究を行い、水質データ等の情報交換を4カ国間で行っていく」をいう旨を記載した合意文書を作成した。（図-30、図-31、図-32）

今後は、各国と情報交換を行っていくことによって水質モニタリングデータや、各国の汚濁負荷原単位等に係わる情報などの充実を図ることとしている。また、得られたデータについては、これらを必要とする研究機関等に積極的に情報提供することとしている。水質モニタリングデータ等の充実により、日本近海の海洋環境の保全に向けた課題抽出、ならびに環境保全対策案作成について、本研究で行った検討と比較して、より詳細に実施できることが期待できる。

本研究の中で、蓄積された調査結果、ならびに構築された日中韓露間の研究パートナーシップを軸に、日本近隣諸国で確実に汚濁負荷削減策が実施されていくよう、これからも我が国からの働きかけを行っていく所存である。

## 謝辞

本研究を実施するに当たり、日本のみならず、中国・韓国・ロシアにおいても多数の方の協力を得た。特に、2008年度より3カ年に渡り国際ワークショップに参加いただいた、北九州大学市立大学院・楠田哲也教授、同済大学・李光明教授、清華大学・杜鵬飛准教授、ソウル市政開発研究院・金甲守前前任研究委員、ロシア科学院太平洋地理学研究所・ウラジミールシュルキン所長には、大変な御協力を頂いた。また、土木学会環境工学委員会の中に設置された、「日本近海の環境問題に関する日中韓露共同研究促進に関する調査検討小委員会」の委員の方々にも、有益な意見を多数頂いた。上記に挙げた先生方以外にも、国内・国外で多数の先生方からヒアリング等の形で情報提供を頂いている。以上の方々と、本研究を共に実施していただいた、日本上下水道設計(株)、いであ(株)の関係者の方々に感謝の意を表す。

## 参考文献等

- 1) 中華人民共和国国家統計局：中国統計年鑑 1996～2007
- 2) 中華人民共和国環境保護部：中国主要流域水質自動監測データ 2005
- 3) 国土交通省関東地方整備局：東京湾流域別下水道整備総合計画 2007年9月
- 4) 環境省：化学的酸素要求量、窒素含有量及びりん含有量に係わる総量削減基本方針 2006年11月
- 5) 中国環境年間 1997～2006
- 6) 韓国統計年鑑 1996～2005
- 7) 公共用水域水質調査結果 1990～2006
- 8) 日本下水道協会：流域別下水道整備総合計画調査 指針と解説 2008年9月
- 9) 国際協力事業団：中華人民共和国太湖水環境管理計画調査 最終報告書 1998年6月
- 10) 韓国国立環境研究院：水系汚染総量管理技術指針 2002年11月
- 11) 総務省統計局：世界の統計 2009年3月
- 12) (社)日本経済研究センター：長期経済予測 HP <http://www.jcer.or.jp/research/long/detail3532.html>
- 13) Mellor, G. L., S. Hakkinen, T. Ezer and R. Patchen(2002) : A generalization of a sigma coordinate ocean model and an intercomparison of model vertical grids, In: Ocean Forecasting: Conceptual Basis and Applications, N. Pinardi and J. D. Woods (Eds.), Springer, Berlin, 55-72.
- 14) Ezer, T. and G. L. Mellor(2004) : A generalized coordinate ocean model and a comparison of the bottom boundary layer dynamics in terrain-following and in z-level grids, Ocean Modelling, 6, 379-403
- 15) Forecast Ocean Plus <http://www.forecastocean.com/e/index.html>
- 16) MODIS データ [http://www.eorc.jaxa.jp/hatoyama/satellite/sendata/modis\\_j.html](http://www.eorc.jaxa.jp/hatoyama/satellite/sendata/modis_j.html)

## 2. 下水管きよの調査・診断の基準化に関する研究

下水道研究室 室長 横田 敏宏  
研究官 深谷 渉  
研究官 宮本 豊尚

### 1. はじめに

我が国の下水道管きよは、平成 21 年度末現在で約 42 万 km もの膨大なストックを抱える。下水道管きよは欧米先進国と比べれば若いものの、下水道管きよ及びこれに付随するマンホールや取付管といった管路施設に起因した道路陥没は毎年約 4,000 箇所が発生しており、老朽化の問題が顕在化している。今後、高度経済成長期に集中投資した社会資本の高齢化・老朽化による事故や災害、維持管理費・更新費の急増が懸念される。

従来、管きよの損傷等不具合に対しては、個別・事後的に対処してきたが、事故や災害を未然に防ぎ、またコストを抑制するためには、施設を定期的に点検・診断し、致命的欠陥の発生前に対策を講じる計画的維持管理が必要不可欠である。また、維持管理にあたっては、不具合を適切に発見するとともに、その劣化程度を正確に診断し、必要な修繕を施す必要がある。

現状の不具合の診断基準に関しては、下水道維持管理指針<sup>1)</sup>や下水管きよ改築等の工法選定手引き(案)<sup>2)</sup>があるが、管種については鉄筋コンクリート管及び陶管の区別が行われているだけで、現在敷設されている下水管渠のうち約 60%を占める塩化ビニル管については触れられていない。

塩化ビニル管は 1974 年に日本下水道協会規格(JSWAS K-1)が制定されて以来急速に普及が進んでおり(図-1)、この時期に下水道事業に着手した比較的小規模な公共団体の中には 100%塩化ビニル管によって整備が行われているところもある。しかしながら、塩化ビニル管はコンクリート管や陶管と比べ新しい材料であるため不具合の発生に関する知見は少ないことから、塩化ビニル管の劣化調査・診断に必要な項目を早急に模索する必要がある。

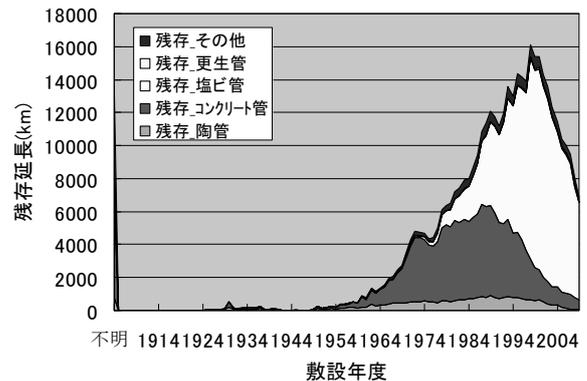


図-1 管渠の敷設年度・管種別管理延長

### 2. 平成 22 年度研究概要

平成 21 年度は、診断基準を明確化する前段として、下水道管路施設の診断に用いられる自走式テレビカメラの診断性能を把握するために、民間の管路維持管理業者を対象としたアンケート調査を行った。

平成 22 年度は、塩化ビニル管の劣化調査・診断に必要な項目を洗い出すため、①実態からのアプローチと②実験によるアプローチの 2 つの手法を試みた。

実態からのアプローチでは、全国の公共団体に対して塩化ビニル管に関するアンケート調査を実施し、塩化ビニル管起因の道路陥没の発生状態やその原因について整理を行った。また、塩化ビニル管の調査延長が比較的長い公共団体から、塩化ビニルの管内を点検した TV カメラ調査結果を収集し、発生している不具合の解析を行った。

実験によるアプローチでは、構造的に不利になると考えられる、取付管の設置に伴う下水道本管の強度について試験を行った。穿孔による強度低下や支管の存在による強度変化について調査を行った。取付管周辺部の強度が劣るならば点検調査時に該当部を重点的にを行い調査の効率化を図ることができる。

### 3. 全国アンケートの実施

塩化ビニル管において発生した陥没や閉塞の実態について調査するため、都道府県及び市町村組合を対象とした全国アンケートを実施した。有効回答は全国の1444団体（塩化ビニル管を有さない38団体を含む）であった。回答頂いた団体のうち、過去5年間にTVカメラ調査・簡易カメラ調査のいずれかの方法で竣工検査を行った実績があるのが332団体(23%)、維持管理時に使用した実績があるのは323団体(22%)であり、なにも実施していない団体が878団体と6割を越えていた(図-2)。別途調査によると、全国の約4割の団体で、維持管理の際に潜行目視・TVカメラ調査・簡易カメラ調査が実施されていることから<sup>3)</sup>、他の管種と比べて比較的の不具合が少ないとされる塩化ビニル管を積極的に除外して調査している団体が多く存在している。

過去1年間に塩化ビニル管のスパンにおいて道路陥没が確認されたのは、本アンケート結果ではわずか25団体であり、その他97%では陥没は発生していなかった(図-3)。

想定される陥没の原因は転圧不足などの「施工に起因する要因」、「管の破損や接続不良」、「地盤の影響」の3つに大別される(図-4)。表-1に個別の具体的な原因を示す。管の平均材齢が他の管種と比べて若いこともあり、現時点では初期不良や地盤等の外的要因による陥没と推定される事例が多くなっていた。

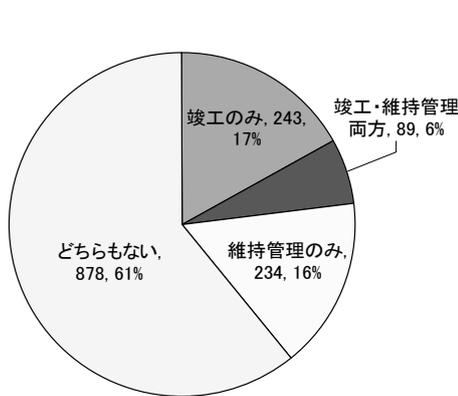


図-2 団体毎の塩化ビニル管に関する点検状況

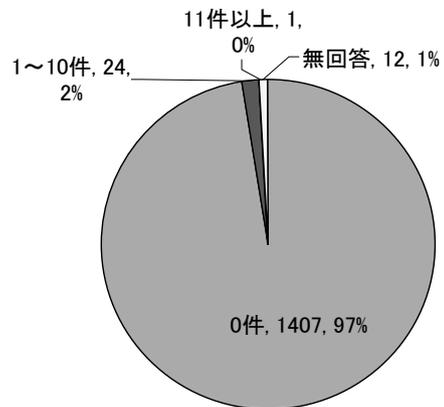


図-3 団体毎の塩化ビニル管における陥没発生件数

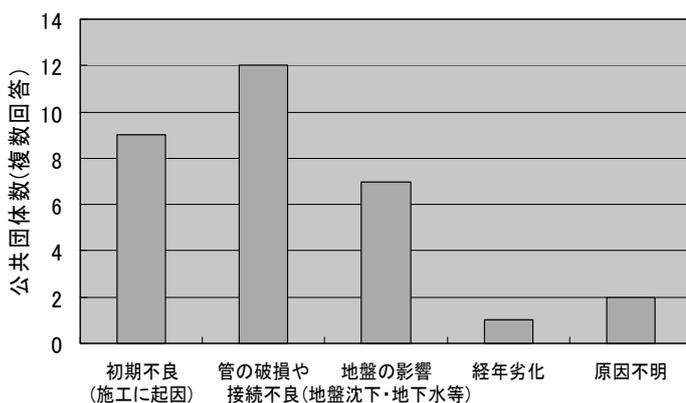


図-4 想定される陥没の原因(団体毎、複数回答)

表-1 経年劣化を除く陥没の具体的な原因

初期不良(施工に起因)	管の破損や接続不良	地盤の影響(地盤沈下・地下水等)
転圧不足	人孔との接続部の破損	地盤沈下
埋め戻し不足	取付管との接合不良	マンホール沈下
応力集中(基礎の問題)	管の破損	軟弱地盤による管の変形
発進立抗、サービス管の外副管コンクリート巻き立て箇所との荷重差による塩ビ管の破損	穴あき本管(透水管)の損傷	地下水・漏水の影響
	管の破損(他企業管工事)	
	継ぎ手不良	
	ジョイント部のズレ	

### 4. TVカメラ調査結果

塩化ビニル管のTVカメラ調査延長が比較的長い団体からTVカメラ調査結果を収集し、8団体2266スパンの点検情報を得た。表-2に各不具合の合計値を団体毎に示す。なお、各都市の判定基準は必ずしも一致していない。

これまでの知見と同様に、各都市で「たるみ」と「浸入水」が多く、管きよで確認された。また、「破損」はほぼすべての団体で複数件確認されている一方で、「腐食」はどの団体でも生じていなかった。不具合の存在する管きよの改築又は修繕の時期を定めるため、TVカメラ調査結果から緊急度判定を行っている。下水管きよ改築等の工法選定手引き(案)<sup>2)</sup>で示されている緊急度の判定例

表-2 各都市のTVカメラ調査結果一覧

団体	スパン数	点検結果(変状数)										
		腐食	たるみ	破損	クラック	継手ズレ	浸入水	取付管突出し	油脂の付着	樹木根侵入	モルタル付着	その他
A市	151	0	42	0	3	1	14	17	0	0	0	17
B市	59	0	41	21	3	13	16	3	0	36	2	4
C市	150	0	70	6	1	3	1	1	9	0	0	0
D市	171	0	10	11	0	6	110	3	0	0	6	27
E市	279	0	98	12	1	6	164	23	5	0	1	7
F市	306	0	379	132	2	0	199	1	0	0	3	0
G市	803	0	1	3	0	0	87	0	0	0	0	0
H市	347	0	517	10	1	29	39	14	0	0	2	15
合計	2,266	0	1,158	195	11	58	630	62	14	36	14	70

に基づくと、塩化ビニル管のスパンが緊急度 I (速やかに措置することが必要)と判定される場合は、「上下方向のたるみがランク A」が必須かつ、「管の破損または継ぎ手ズレのランク a が一箇所以上」または「不具合発生率に基づくスパン全体のランクが A 判定」となる。同(案)の「たるみ(ランク A)」判定は、多くの塩化ビニル管が該当する口径 700mm 未満では「内径以上のたるみ」とされている。今回収集した 2266 スパン中「たるみ(ランク A)」となったスパンは 10 スパンに満たず、緊急度 I と判定されるスパンは存在しなかった。

実際に不具合があった管きよの写真を次頁に示す。写真-1 は管頂にクラックを生じている事例であり、該当地区では地下水位が高いため発生したクラックから大量の浸入水が流入している。地下水とともに周辺の土砂が管きよ内に流入すると道路下に空洞が生じて道路陥没の原因となることから、このような箇所では塩化ビニル管であっても道路陥没の可能性は十分にあり、対応が必要であるといえる。写真-2 はねじれの力によって破損したと推定される塩化ビニル管であり、ランク b 以上の浸入水や破損は各団体の調査で散見される。その他、人孔接続部から木根が侵入している事例や、管の接続部及び軟弱地盤により管が変形して破損し、地下水が浸入した事例も報告されている。

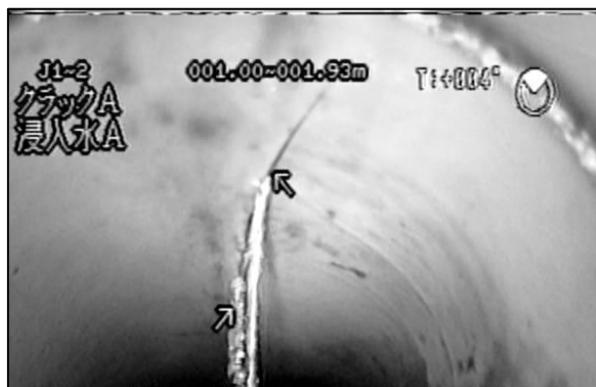


写真-1 クラックと浸入水



写真-2 破損した塩化ビニル管

### 5. 取付管の設置による下水道本管強度への影響試験

下水道管路に起因する道路陥没が年間約 4000 件発生している。陥没を引き起こす原因施設は、本管管きよやマンホール、本管とマンホール接続部など様々であるが、特に陥没が多く報告されているのは取付管である<sup>4)</sup>。ここ



図-5 実験ケース

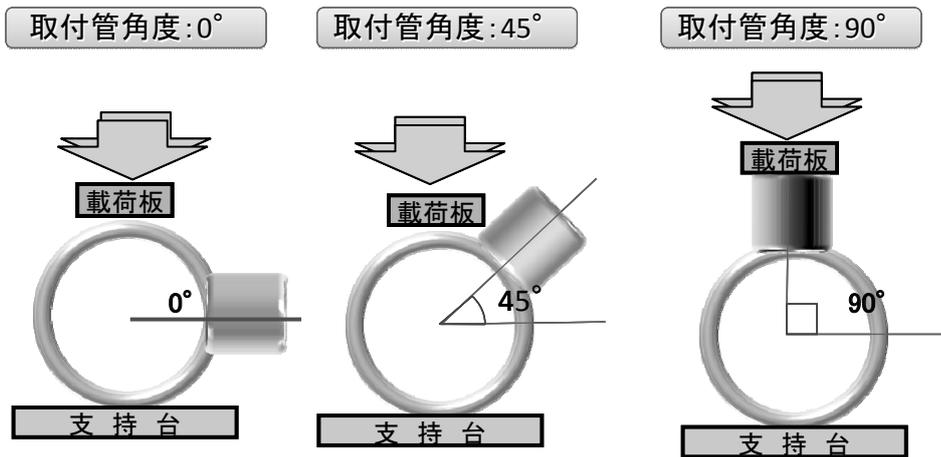


図-6 載荷位置

では、取付管と本管の接続部における強度を把握するために取付管を設置することによる本管強度の変化について実験を行った。

#### (1) 試験方法

塩ビ管への取付管の設置を図-5 に示す3 ケース (ブランク含む) として、日本下水道協会規格 JSWAS K-1(下水道用硬質塩化ビニル管)の偏平試験方法に準じ、載荷位置については図-6 のとおりとした。各ケースとも N=3 の供試体について試験を実施し、線荷重を測定した。

使用した管材 (支管含む) の規格・仕様については以下の通りである。

- ・硬質塩化ビニル管 VU150
- ・硬質塩化ビニル製支管 SVR150×100 (但し、載荷を阻害しないようくら部のみ使用する)
- ※JSWAS K-1(下水道用硬質塩化ビニル管)規格品

実験は表-3 に示す条件の供試体を用いた。供試体は所定長さに切断後、ホルソーにて塩ビ管用Φ100 の孔をせん孔した。支管にエポキシ樹脂系支管接合剤を塗布後に管に取り付け、番線にて支管2箇所を締上げて固定、常温にて24時間以上静置養生を行った。番線については、試験時に載荷の障害となるため養生後に除去した。また、取付管角度が45度で載荷する供試体は、支管の一部が載荷の障害となるため、これを切り欠いた(図-7)。

JSWAS K-1 に準拠し、本官の呼び径が150 であるので偏平試験における偏平圧縮量8mm と設定した。載荷にはテンシロン圧縮試験機 UCT-10T (能力100kN) を使用し、同機の上部載荷板に幅50mm×長さ1050mm のH鋼を固定し、下部に支持台としてH鋼を設置した(図-8,9)。供試体の上下のH鋼の間隔の初期状態(供試体をセットした状態)から8mm 圧縮された状態を偏平圧縮量8mm とした。なお、支管(くら部のみ)を設置した供試体についても同様に扱っている。

表-3 供試体の諸元

No.	供試体長さ	管種	本管		取付管		支管配置形状
			呼び径	呼び径	呼び径	角度	
1	500mm	VU	150	100	-	-	(ブランク)
2					穿孔のみ	0°	支管接合
3						45°	
4						90°	
5					支管接合	0°	支管接合
6						45°	
7						90°	



図-7 取付管角度 45 度位置での  
載荷を行う供試体の加工

(2) 試験結果

所定の扁平圧縮量に達したときの線荷重を、図-10、11 に示す。JSWAS K-1 では、呼び径 150 の塩化ビニル管における扁平強さは 3.38kN/m 以上の線荷重を性能として要求しているが、いずれの実験系でも基準を満足していた。

せん孔 1 箇所のみ供試体の線荷重値は、載荷角度 0° ~90° の範疇では、ブランクの値に対し 90.1%~93.4% となり、せん孔による扁平強度低下がみられた。載荷角度による差異はわずかであったが、図-10 に示すように 0°、45°、90° の順で強度低下がみられる。

一方で支管 1 箇所接合した供試体の線荷重値は、載荷角度 0° ~90° の範疇では、ブランクの値に対し 106.8% (45°) ~185.9% (90°) となり、支管設置による扁平強度上昇が確認された。載荷角度による差異は大きく、図-11 に示すように顕著に差異がみられる。せん孔のみと異なり、載荷角度 90° で強度が最も大きく、次いで 0°、45° の順となった。適切な接着を行った支管設置により、事実上 VU150 の管厚が増加したことによる扁平強度上昇が影響しているほか、載荷位置や管厚増加部の位置関係、切欠きの存在による供試体の剛性の差異が強度に影響していると考えられる。今回の実験においては十分な接着が行われていたため、取り付け管の存在によって偏

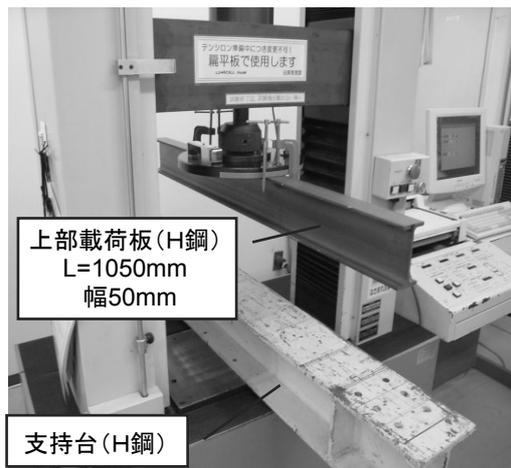


図-8 テンシロン圧縮試験機 UCT-10T

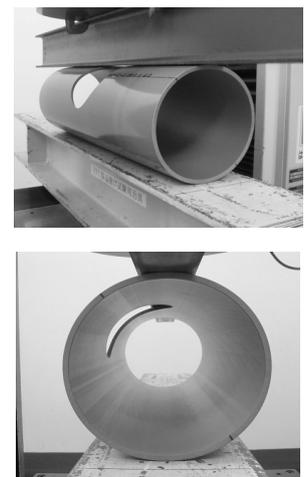


図-9 載荷の様子

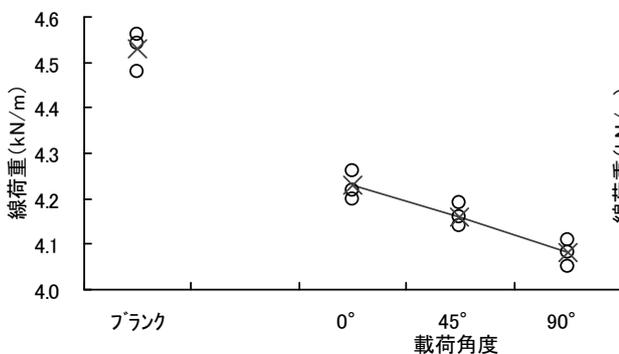


図-10 せん孔のみの試験結果

(○は n=3 個々のデータ、×は平均値を示す)

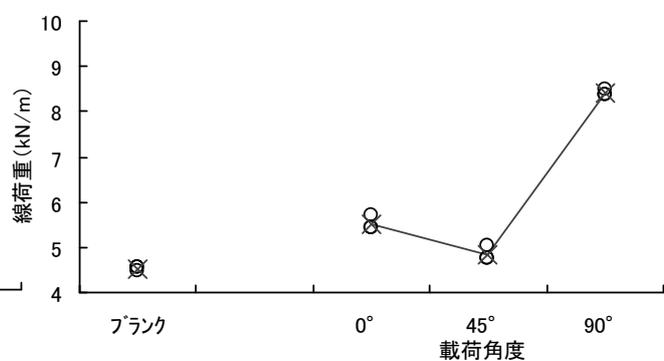


図-11 支管 1 箇所設置の試験結果

(○は個々のデータ、×は平均値を示す)

平強度は増加する傾向にあったが、適切な施工が行われなければ強度低下の可能性が示唆された。

## 6. まとめ

現在敷設されている下水管きよのうち約 60%を塩化ビニル管が占めているが、塩化ビニル管はコンクリート管や陶管と比べ新しい材料であると同時に調査も他の管種と比べて行われていないため不具合の発生に関する知見は少ない。

全国アンケート調査の結果埋設塩化ビニル管において発生した陥没の実態を調査するため、全国アンケートを実施したところ、97%の団体では陥没は発生していなかった。また、陥没の発生原因は初期不良や地盤等の外的要因による陥没と推定される事例が多くなっていた。緊急度も低く判定される傾向にあるが、実際にTVカメラ調査結果を確認すると多くの団体でbランク以上の浸入水や破損などの不具合が見られている。

継手部については強度について弱点になる可能性があったが、実験により十分な施工を実施していれば強度上問題ないことが明らかとなった。

今後、塩化ビニル管でも道路陥没の発生件数が増加することが想定されることから、塩化ビニル管の不具合に関する知見を蓄積するとともに、劣化を把握する上で必要となる調査項目の精査や適切な判断基準が必要である。

## 謝辞

本研究の実施に当たっては、全国下水道事業者からアンケートの回答、テレビカメラ調査結果の提供、個別ヒアリングに関してご協力を賜った。ここに記して謝意を示す。

## 参考文献

- 1) 社団法人日本下水道協会：下水道維持管理指針、2003
- 2) 社団法人日本下水道協会：下水管きよ改築等の工法選定手引き(案)、pp.51-54、平成 14 年 5 月
- 2) 榊原隆 他：下水管渠の適正な管理手法に関する研究、国土技術政策総合研究所資料 平成 19 年度下水道関係調査研究年次報告書集、pp.71 -74、2009
- 3) 公益社団法人 日本下水道管路管理業協会：平成 22 年度 第 1 回下水道管路管理研究会議資料
- 4) 榊原隆 他：平成 19 年度下水道関係調査研究年次報告集、国土技術政策総合研究所資料 平成 19 年度下水道関係調査研究年次報告書集、pp.19 -22、2009

### 3. 社会資本の予防保全的管理のための点検・監視技術の開発

下水道研究室 室長 横田 敏宏  
研究官 深谷 渉  
研究官 宮本 豊尚

#### 1. はじめに

社会資本の高齢化に伴って、社会資本の不具合に起因する事故の発生が散見されるようになった。下水道分野においても、下水道管路施設に起因する道路陥没が年間 4000 件発生するなど、高度経済成長期に集中投資した社会資本の高齢化・老朽化による事故や災害、維持管理費・更新費の急増が懸念されている。従来は損傷等に対して個別・事後的に対処してきたが、事故や災害を未然に防ぎまたコストを抑制するためには、施設を定期的に点検・診断し、致命的欠陥の発生前に対策を講じることが望ましいと考えられる。

しかしながら現在、目視できない部位、目視による評価が困難な変状に対する点検・診断技術は未熟な状況にあり、これらを経済的かつ確実に点検・監視する技術の開発に早急に取組む必要がある。

国総研では、下水道管路施設の致命的損傷の発生を未然に防ぐ予防保全的管理を推進するために、①点検・監視技術の性能評価、②より簡易な診断手法・診断装置の開発に取り組み、点検の効率化、点検実施率の向上を図るための研究を、平成 22 年度より開始した。

これにより、予防保全の考え方に基づく適切な維持管理が推進され、国民生活や経済社会活動に甚大な影響を与える社会資本の致命的な損傷の回避、長寿命化、コスト縮減の進展が期待される。

#### 2. 平成 22 年度研究概要

下水道管路施設の管理を行うにあたっては、施設の致命的損傷に繋がる劣化を早期に発見し処理することが重要である。しかしながら、管きよが置かれた環境は一本一本異なっていると同時に、調査にかかるコストや時間・機材の問題から各都市における管路の点検・調査は十分に実施されているとは言い難く、年間に敷設延長の約 1.2% 程度しか TV カメラ調査がされていない状況にある。

そこで本研究では、管路施設の点検・調査の促進を図るため、点検調査手法の簡素化・効率化について検討を行うものである。平成 22 年度は、調査を行ううえで必要な最低限の調査機器のスペックについて整理を行うと共に、特に重要視すべく管きよの不具合項目について調査を行った。

#### 3. 既存 TV カメラ調査機器の性能に関するアンケート調査

TV カメラ調査機器は、多数市販・利用されている状況にあるが、一方で TV カメラに求められる明確な性能基準は示されておらず、また、管きよ不具合の判定基準に関しては、下水道維持管理指針や行政毎の独自基準が存在するが、一部の基準は判定者（オペレーター）の定性的な判断によるところがあることから、得られた調査結果に大きなバラツキが生じている。

ここでは、発注者(行政)と現場のオペレーター（維持管理業者）に対して、現在の TV カメラ調査における性能上の問題点を把握するためのアンケート調査を行った。

##### (1) 発注者を対象としたアンケート調査

発注者が TV カメラ調査機器に期待する性能について調査するため、TV カメラ調査延長の比較的長い 50 市町にアンケートを依頼し、35 団体から有効回答を得た。実際の TV カメラ調査を通じて物足りなさを感じた機器性能とし

ては、「照度(照明機器)」、「走行性」、「視方向」の3項目が挙げられたが、概ね現在調査で選定されている機種について問題があるとは認識されていなかった。今後性能規定を必要とする項目についても、「照度」と「視方向」を挙げる団体が多かった(図-1)。

(2) 現場オペレーターを対象としたアンケート  
実際にTVカメラ調査機器を操作している現場オペレーターが現在の調査機器に期待する性能について調査するため、TVカメラを保有している調査会社のオペレーター37人を対象に、TVカメラ

性能として特に必要と思われる項目と実調査時に生じた走行性に関するトラブルについてアンケート調査を実施した。

TVカメラの性能として、特に重要と思う項目を最大3つ挙げていただいたところ(図-2)、「照度」と「走行性」が重視されており、発注者が重視していた「視方向」については重要度が低い傾向にあった。これは発注者側では視方向が広いと調査速度が上がるとして重要視しているが、現場のオペレーターとしては、視方向が狭くても着実な調査を行えば同じ精度の調査が実施できるということを示唆していると考えられる。そのほか、ズーム機能、防水性について必要であるとの意見があった。

また、多くのオペレーターが転倒(36人/37人)、つまずき(26人/37人)といったトラブルを経験しており、走行性の試験についても評価を行う必要がある。

#### 4. 管きよの経年劣化に関する調査

管きよ劣化の経年的な変化を把握するため、同じ路線を対象として平成8年度及び平成19年度に実施されたTVカメラ調査結果及び画像データ等を用いて、劣化の進行具合を比較整理するとともに、道路陥没の予兆についても調査を行った。対象とした管きよはA市の延長約8km(189スパン)で、当地区は戦前から整備が行われているコンクリート管主体の合流区域である。図-3に対象管きよの管種と敷設年度を、図-4に平成19年度のTVカメラ調査結果における不具合毎の管きよのスパン数を示す。

##### (1) 管きよの経年劣化

不具合の判定は、「下水管きよ改築等の工法選定手引き(案)」<sup>2)</sup>に拠って、同じTVカメラオペレーターのみで

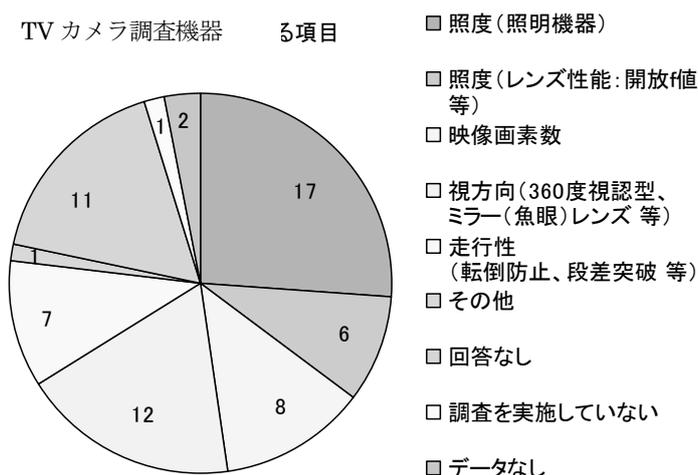


図-1 今後性能規定を必要とする項目(発注者)

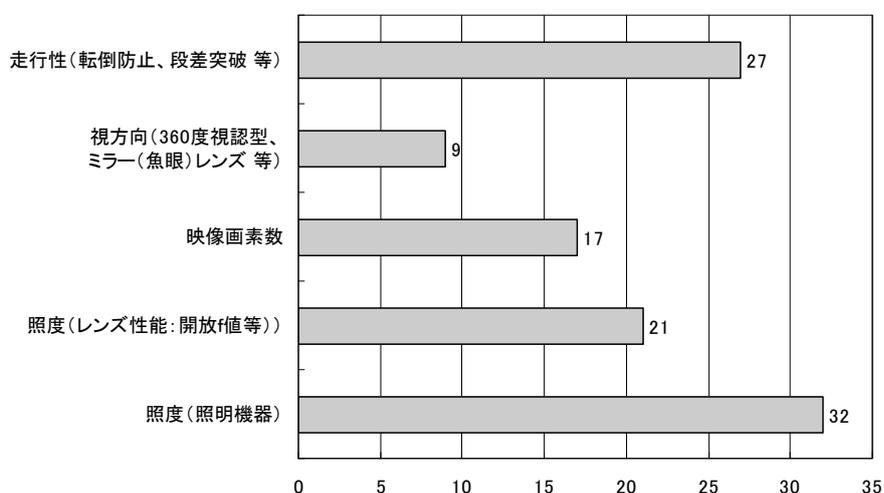


図-2 TVカメラ性能として特に必要な項目(オペレーター)

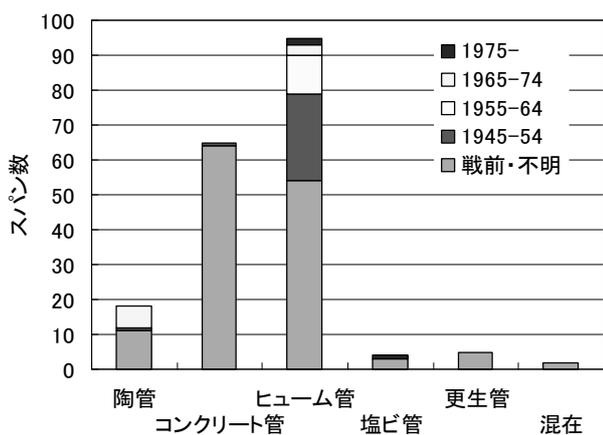


図-3 対象管きよの管種と敷設年度

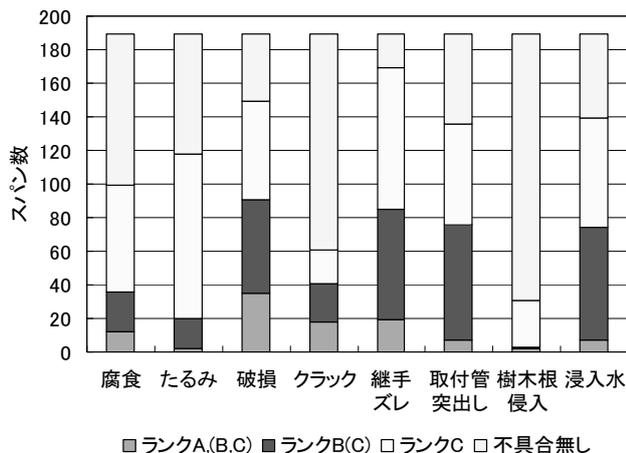


図-4 平成19年度調査における管きよの不具合

表-1 各不具合項目と10年間で不具合スパンの増減

変化内容		腐食	たるみ	破損	クラック	継手ズレ	取付管突き出し	樹木根侵入	浸入水
新規増加	10年前不具合無く、10年後不具合が新規増加	0	0	2	5	0	8	9	49
ランクアップ	10年前に比べ不具合ランクがアップ	0	0	0	0	0	0	1	4
ランクダウン	10年前に比べ不具合ランクがダウン	0	0	1	0	0	0	3	32
減少	10年前は不具合があったが、補修により減少	0	0	4	0	0	4	0	0
変化無し	10年前と10年後で結果に変化無し	99	118	142	56	169	125	18	63
不具合なし	10年前・10年後でいずれも不具合がない	90	71	40	128	20	52	158	41

改めて再判定を行った。対象とした不具合は、「腐食」・「たるみ」・「破損」・「クラック」・「継ぎ手ズレ」・「取付管突き出し」・「樹木根侵入」・「浸入水」の8項目とした(表-1)。

大半のスパンでは変化が確認できなかったが、「破損」・「クラック」・「取付管突き出し」・「樹木根侵入」については新規増加やランクアップしたスパンが確認され、これらの項目については経年劣化する可能性が見出せた(写真-1、写真-2)。「浸入水」は新規増加が認められており、経年劣化の影響を受けているといえるが、10年前の調査が夏、10年後が冬であったことから、地下水位の変動により、ランクダウンとなった管きよも多く見られた。

一方で「腐食」・「たるみ」・「継ぎ手ズレ」については、いずれの不具合においてもこの10年間の間でランクアップ・ランクダウンも含めて変化は認められなかった。この三項目については、敷設初期に不具合が発生するのか、地震等の特異なイベント時に劣化するのか、環境条件等により不具合が発生しなかったのか不明である。

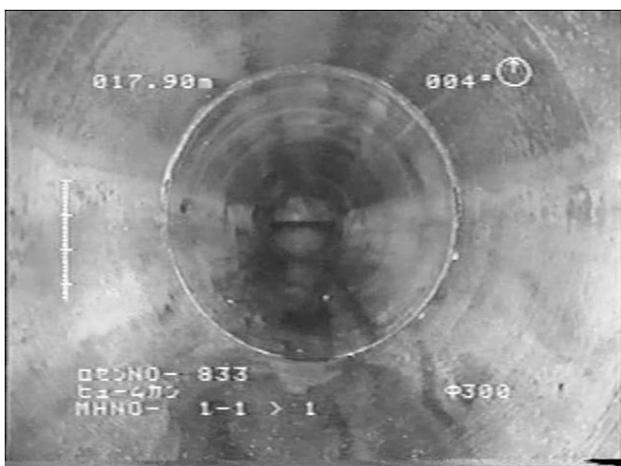


(左) 平成 8 調査時

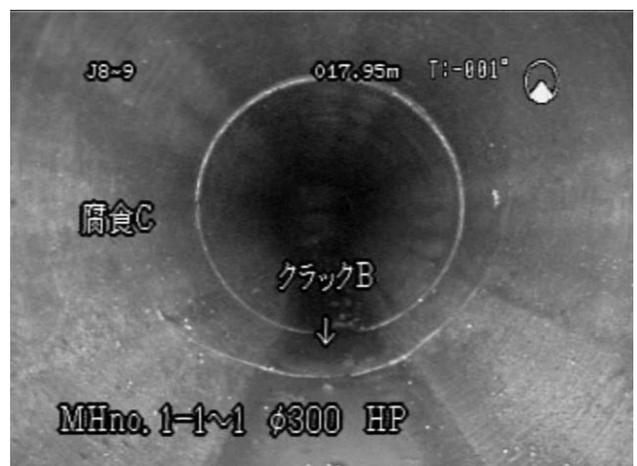


(右) 平成 19 調査時

写真-1 同一スパンにおける 10 年間での劣化進行例(木根侵入)



(左) 平成 8 調査時



(右) 平成 19 調査時

写真-2 同一スパンにおける 10 年間での劣化進行例(クラック)

## (2) 道路陥没の兆候

国総研では、平成 18 年度より毎年度、下水道管路施設に起因する道路陥没データを収集している<sup>3)</sup>。当該地区においても道路陥没は多く発生しており、TV カメラ調査後に道路陥没が発生した箇所を抽出し、陥没の兆候と考えられる不具合の有無について整理を行った。

当地区では、平成 19 年度に実施された TV カメラ調査以降に、12 箇所の道路陥没が報告されており、いずれも TV カメラ調査において何らかの不具合が確認されていた(表-2)。当地区では A~B ランクの「破損」・「継手ズレ」・「浸入水」と推定される陥没が多く見られている他、道路陥没の要因と考えられる「クラック」・「樹木根侵入」についても確認されている。また、「取付管突出し」も多くのスパンで確認されている。

このうち「浸入水」と「樹木根侵入」については 10 年間で増加が見られているが、10 年前の判定結果と大きく変化していないものもある。変化していない項目については、不具合が発生してから道路陥没を引き起こすまでに 10 年単位の時間が必要であるか、あるいは繰り返し同じスパンで道路陥没を引き起こしているかのいずれかであろうと推察される。

表-2 直近の TV カメラ調査後に発生した道路陥没（過去 3 年分）

	直近の調査におけるランクB以上の不具合							10年間での変化	陥没当時の推定原因	陥没規模		備考
	腐食	破損	クラック	継手ズレ	取付管突出し	樹木根侵入	浸入水			陥没幅 (cm)	陥没深さ (cm)	
1		B(7)			B(3)		B(2)	変化無し	破損	50	50	
2	B	A(1) B(2)			B(2)			破損のランクダウン(A⇒B)	破損	50	30	
3	B	B(2)			B(2)			取付管突出 (B,C)の増加	破損	30	30	
4		B(1)			B(1)	B(1)		浸入水(C)・木根侵入(B,C)の増加	破損	30	20	同ースパン3回陥没
5								浸入水の増加(C)・木根侵入のランクダウン(B⇒C)・浸入水のランクダウン(B⇒C)・増加(C)	ズレ・接合不良	30	30	同ースパン2回陥没 管内に穴(取付管継ぎ手の半数に浸入水)
6			B(1)		B(1)		B(1)		不明	不明	不明	
7		B(2)		B(1)	A(1) B(2)		B(8)	変化無し	不明	不明	不明	
8	一部A	A(1)		B(1)			B(1)	浸入水の増加(B)	ズレ・接合不良	50	80	
9	一部A	B(1)		A(1) B(2)				変化無し	ズレ・接合不良	不明	不明	横断管が浸入

※ 括弧内の数字は各スパンのうち該当する不具合のあった本数を示す。

## 5. まとめ

既存の TV カメラ調査機器についてカタログ調査やメーカーヒヤリングから性能を整理し、さらに発注者である公共団体の担当職員と請負者側のオペレーターにアンケート調査を実施した。その結果、照明性能と視方向性能とカメラの走行性が、機器の優劣を判断する条件として挙げられた。

A 市における 10 年間の TV カメラ調査の結果から、「破損」・「クラック」・「取付管突き出し」・「樹木根侵入」・「浸入水」の 5 項目については経年劣化する可能性が見出せた。また、TV カメラ調査後に道路陥没を引き起こした管きよは「破損」・「クラック」・「継ぎ手ズレ」・「樹木根侵入」・「浸入水」でランク A・B の不具合が確認された。「継ぎ手ズレ」を除く 4 項目は 10 年間で経年劣化することが認められた不具合であり、劣化診断を行う簡易検査においてはランク B 以上の「破損」・「クラック」・「取付管突き出し」・「樹木根侵入」・「浸入水」の有無については判別できる必要があることが分かった。

## 6. 今後の展開

平成 22 年度の調査から、管きよの劣化診断を行ううえで重視される機器の項目と見落とすことのできない不具合項目が抽出された。これらの項目について、既存の TV カメラ調査、簡易カメラ調査がどの程度の精度を保有しているのかを実験によって確認するため、平成 22 年度中に写真-3 に示す模擬劣化管路を製作した。模擬劣化管きよはφ200 の塩化ビニル管とφ250 のヒューム管の 2 系列で構成され、それぞれ表-3 に示す不具合を有している。

平成 23 年度は、本模擬劣化管路を用いて、同じ不具合を異なる調査機器で診断した場合に、その見え方にどのような違いがあるか調査を行って調査機器の持つ特性や限界を把握する予定である。特に簡易カメラ点検手法については未だ統一的な診断手法や診断基準はなく、簡易カメラの性能把握を整理することは管路の効率的な診断に資するといえる。

また、平成 22 年度の調査でオペレーターによって診断結果に差があることも明らかとなったことから、平成 23 年度調査では、複数のオペレーターによる診断のばらつきについても調査を行う予定である。



写真-3 模擬劣化管路外観

表-3 実験装置が有する不具合

管種 口径	塩ビ管(VU) φ200		コンクリート管(HP) φ250		供試体寸法
① 破損	ランクA	軸方向幅5mm以上(10mm以下)クラック	軸方向幅5mm以上(10mm以下)クラック	軸方向幅5mm以上(10mm以下)クラック	1箇所/1m
	ランクB	軸方向幅2mm以上(5mm以下)クラック	軸方向幅2mm以上(5mm以下)クラック	軸方向幅2mm以上(5mm以下)クラック	1箇所/1m
	ランクC	軸方向幅2mm未満クラック	軸方向幅2mm未満クラック	軸方向幅2mm未満クラック	1箇所/1m
② 腐食	ランクA	-	鉄筋露出状態	鉄筋露出状態	1箇所/1m
	ランクB	-	骨材露出状態	骨材露出状態	1箇所/1m
	ランクC	-	表面が荒れた状態	表面が荒れた状態	1箇所/1m
③ クラック	ランクA	軸方向幅5mm以上(10mm以下)クラック	軸方向幅5mm以上(10mm以下)クラック	軸方向幅5mm以上(10mm以下)クラック	1箇所/1m
	ランクB	軸方向幅2mm以上(5mm以下)クラック	軸方向幅2mm以上(5mm以下)クラック	軸方向幅2mm以上(5mm以下)クラック	1箇所/1m
	ランクC	円周方向幅2mm未満クラック	円周方向幅2mm未満クラック	円周方向幅2mm未満クラック	1箇所/1m
④ 継手ズレ	ランクA	脱却	脱却	脱却	1箇所/2m
	ランクB	70mm以上	70mm以上	70mm以上	1箇所/2m
	ランクC	70mm未満	70mm未満	70mm未満	1箇所/2m
⑤ 管のたるみ・蛇行	ランクA	内径以上	内径以上	内径以上	可とう管 2箇所
	ランクB	内径の1/2以上	内径の1/2以上	内径の1/2以上	
	ランクC	内径の1/2以下	内径の1/2以下	内径の1/2以下	
⑥ 浸入水	ランクA	噴き出ている	噴き出ている	噴き出ている	1箇所/1m
	ランクB	流れている	流れている	流れている	1箇所/1m
	ランクC	にじんでいる	にじんでいる	にじんでいる	1箇所/1m
⑦ 取付管突出し	ランクA	本管内径の1/2以上(3/4以下)	本管内径の1/2以上(3/4以下)	本管内径の1/2以上(3/4以下)	1箇所/1m
	ランクB	本管内径の1/10以上(1/5以下)	本管内径の1/10以上(1/5以下)	本管内径の1/10以上(1/5以下)	1箇所/1m
	ランクC	本管内径の1/10未満	本管内径の1/10未満	本管内径の1/10未満	1箇所/1m
⑧ 樹木根侵入	ランクA	内径の1/2以上(3/4以下)閉塞	内径の1/2以上(3/4以下)閉塞	内径の1/2以上(3/4以下)閉塞	1箇所/1m
	ランクB	内径の1/2未満閉塞	内径の1/2未満閉塞	内径の1/2未満閉塞	1箇所/1m
	ランクC	-	-	-	-

### 謝辞

本調査では多くの公共団体の皆様、テレビカメラ調査会社のオペレーターの皆様にアンケートをご回答頂いた。また、A市からは、TVカメラ調査結果を提供していただいた。ここに記して謝意を示す。

本研究は、技術研究開発調査費（国土交通省総合技術開発プロジェクト）で実施されたものである。

### 参考文献

- 1) 平成20年度下水道関係調査研究年次報告書集、国総研資料No.543、平成21年8月
- 2) 日本下水道協会 下水管きょ改築等の工法選定手引き（案）平成14年5月
- 3) 平成21年度下水道関係調査研究年次報告書集、国総研資料No.605、平成22年8月

## II. その他の予算による研究

[下水処理研究室]

# 1. 下水道による微生物リスク低減の評価に関する研究

下水道処理研究室 室長 小越 眞佐司  
研究官 藤原 隆司  
研究官 對馬 育夫

## 1. はじめに

下水道整備効果の定量的な評価は、現在、「下水道事業における費用効果分析マニュアル(案)」によって行われているが、健康被害削減効果は評価されていない。本研究は、下水道整備の重要な目的である微生物による健康被害(以下、感染リスクという)削減について、その効果の定量的評価方法を提案し、下水道整備効果に感染リスク削減効果を反映させることを目的としている。平成 20 年度は、感染性胃腸炎患者数と流入下水中のノロウイルスの濃度に相関が見られること、処理場の生物処理過程で約 99%を除去していること、冬季の低水温下においては環境中での減少が見られないことなどを報告した。平成 21 年度は、擬陽性を低減するための手法に関する資料調査を行うとともに、その中で得られた酵素を用いる方法を用いて擬陽性を低減する手法を検討した。本年度は、下水処理(下水処理場および浄化槽) 方法の違いによる病原性微生物の実態調査を行うとともに衛生リスクを比較・評価した。

## 2. 調査方法

### 2-1 サンプルング

下水中に次亜塩素酸が含まれる可能性があるため、採取後直ちに中和処理を行った。中和には、チオ硫酸ナトリウム五水和物を用い、水道水の基準値である 0.1 ppm の次亜塩素酸を中和可能なチオ硫酸ナトリウム五水和物を 1.24 mg/L 添加した。試料の採取量は 3 L とした。なお、サンプルングは A 市浄化槽放流水および B 市下水処理場放流水から 1 回ずつ行った。

### 2-2 培養法

表 1 に病原微生物の培養法を示す。

表 1 病原微生物の培養法

細菌名	試験法	培地名	培地メーカー名	培養温度
大腸菌	上水試験法	X-GAL-MUG 培地	培地成分を個々に調製	36±1℃、22±2 時間
大腸菌	選択培地	コリラート	アイデックス	35±0.5℃、24 時間
腸球菌	下水試験法	KF 寒天培地	オキシイド	35~37℃、48 時間
嫌気性芽胞	上水試験法	ハンドフォード改良寒天培地	栄研	45℃、24 時間 パウチを用いた嫌気培養
カンピロバクター	選択培地	キャンピロセル寒天培地	シスメックスバイオメリユール	微好気培養、33~37℃で 48 時間培養

### 2-3 病原微生物の定量 PCR

病原微生物の定量は 1) 試料の濃縮、2) DNA 抽出、3) 逆転写 (ノロウイルスおよびエンテロウイルス)、4) リアルタイム PCR の順に行った。実験に供した試料は陰電荷膜法により濃縮した<sup>1)</sup>。リアルタイム PCR 法で検出した 3 反復中のゲノム量および希釈倍率に基づき、最確数(MPN) 表を用いて放流水 1 ml 中に存在

する病原性細菌およびウイルス量を算出した。なお、表 2 に病原微生物の検出に用いたプライマー情報を示す。

表 2 病原微生物の検出用 PCR に用いたプライマー情報

病原微生物名	プライマー情報	文献
大腸菌	Forward: 5'-GGGGCGGTGACGCAG-3' Reverse: 5'-CCTGGTGAGTCGGAATGGTG-3'	2)
ノロウイルス G I	Forward: 5'-CGYTGGATGCGNTTYCATGA -3' Reverse:5'-CTTAGACGCCATCATCATTYAC-3'	3)
ノロウイルス G II	Forward: 5'-CARGARBCNATGTTYAGRTGGATGAG -3' Forward: 5'-TTTGAGTCCATGTACAAGTGGATGCG-3' Reverse: 5'-TCGACGCCATCTTCATTCAAA-3'	3)
エンテロウイルス	Forward:5'-CGCCCCTGAATGCGGCTAAT -3' Reverse: 5'-CACCGGATGGCCAATCCAA-3'	4)

## 2-4 リスク評価

用量反応モデルとして定式化できる最も簡単なものは指数型用量反応モデル<sup>5)</sup>であり、このモデルは微生物が宿主に取り込まれた時に、宿主の状態に関わらず、同一の生残確率を有し、同一の確率で感染を引き起こすと仮定している。しかし、病原体や宿主の中には、病原体の生残が成功する割合が変化する場合があります、この点を考慮して提唱されたモデルがベータポワソン型用量反応モデルである<sup>6, 7)</sup>。このモデルは年間感染リスクを計算し、飲料水中のウイルスの推定量に対する感染リスクや発症率、死亡率を推定するために用いられている<sup>8, 9)</sup>。このため、本試験において(1)式および表3に示した曝露頻度および摂取量を用いて年間の感染リスク評価を行った。なお、リスク評価の計算を行うにあたり、既知のパラメーター( $\alpha$ 、 $\beta$ )を用いた(表4)。また、エンテロウイルスはノロウイルスのパラメーターを用い、嫌気性芽胞および腸球菌は大腸菌のパラメーターを用いてリスク評価計算を行った(表4)。

$$Pn = 1 - (1 + D/\beta)^{-\alpha n} \quad \dots (1) \text{ 式 } \text{ベータポワソンモデルを用いた年間感染リスクの計算式}$$

(Pn: 年間感染リスク、D: 用量(ウイルス・細菌数×1回の摂取水量(L))、 $\alpha$ 、 $\beta$ : パラメーター、n: 年間摂取日数)

表3 下水処理水の放流水および再利用水に対する曝露頻度および摂取量<sup>10, 11, 12)</sup>

接触形態	被曝露者	曝露形態	曝露頻度	1回当たり摂取水量
水浴	水浴者	水浴中の誤飲	40 日/年	100mL/日
水道利用	水道利用者	水道水の飲用利用	365 日/年	1L/日
親水用水 1(公園)	公園利用者	水遊び	100 日/年	10mL/日
親水用水 2(公園)	公園利用者	手についた水の間接経口摂取	20 日/年	0.3mL/日
滝、噴水	公園利用者	ミストを吸い込む	10 日/年	1mL/日
トイレの水洗用水	トイレ利用者	しぶきが口に入る	3 回/年	0.02mL/日
修景用水(公園)	公園利用者	魚釣り	2 日/週 (104 日/年)	1mL/日
水洗用水(オフィス)	勤労者	飛沫による接触	5 日/週 (260 日/年)	0.1mL/日
散水用水(公園)	公園利用者	芝生等での接触	60 日/年	1mL/日

表4 ベータポワソンモデルに用いるパラメーター( $\alpha$ 、 $\beta$ )の値

微生物名	$\alpha$	$\beta$	文献
大腸菌	0.1778	$8.6 \times 10^7$	8)
カンピロバクター	0.145	896	13)
ノロウイルス	0.631	$6.5 \times 10^5$	14)

## 3. 結果

表 5 に培養法による病原性微生物の定量結果を示した。また、表 6 にリアルタイム PCR による検出法を用いた MPN 法による病原微生物の定量結果を示した。表 7、8 に様々な形態で A 市浄化槽放流水および B 市

下水処理場放流水に接触する場合の病原性細菌・ウイルスに対する年間感染リスクの推定結果を示した。なお、選択培地(コリラート)を用いた大腸菌数の定量結果はいずれの試料とも検出下限値以下であったことから、リスク評価は行わなかった。

一方、浄水処理工程では、水道原水中のウイルスを除去あるいは不活化し、摂取による病原性微生物の年間感染リスクを $10^{-4}$ (人口1万人あたり1人)以下に抑制することが推奨されている<sup>15, 16, 17)</sup>。そのため、浄水処理の除去率を99.99%とした場合に、各接触形態における年間感染リスクが $10^{-4}$ に達する水道原水中の病原性細菌・ウイルス量を算出した結果を表9に示した。

表 5 培養法による病原性微生物の定量結果

	A 市浄化槽放流水	B 市下水処理場放流水
大腸菌(上水試験法)	$1.7 \times 10^3$ CFU/ml	$< 1.0 \times 10$ CFU/ml <sup>**</sup>
大腸菌(選択培地: コリラート)	$> 2.4 \times 10^3$ MPN/100ml <sup>*</sup>	$< 1.0$ MPN/100ml <sup>**</sup>
嫌気性芽胞	4.0CFU/10ml	2.0 CFU/10ml
腸球菌	$5.0 \times 10$ CFU/ml	$< 1.0 \times 10$ CFU/ml <sup>**</sup>
カンピロバクター	$2.4 \times 10^3$ CFU/ml	$< 1.0 \times 10$ CFU/ml <sup>**</sup>

\*: 検出限界以上を示す。 \*\*: 検出限界以下を示す。

表 6 リアルタイム PCR による検出法を用いた MPN 法による定量結果 (MPN/ml)

	A 市浄化槽放流水	B 市処理場放流水
大腸菌	$9.3 \times 10^3$	$9.0 \times 10^{-1}$
ノロウイルス G I	$3.7 \times 10^1$	$5.5 \times 10^1$
ノロウイルス G II	$3.7 \times 10^3$	$1.8 \times 10^3$
エンテロウイルス	$2.2 \times 10$	$< 1.5 \times 10^{-1}$

表 7 試料中の病原性細菌に対する年間感染リスク値(A 市浄化槽放流水)

接触形態	大腸菌 (上水試験法)	大腸菌 (Real time PCR 検出)	嫌気性芽胞	腸球菌	カンピロ バクター	ノロウイ ルス G I	ノロウイ ルス G II	エンテロ ウイルス
水浴	$1.4 \times 10^{-5}$	$7.7 \times 10^{-5}$	$3.3 \times 10^{-9}$	$4.1 \times 10^{-7}$	$7.5 \times 10^{-1}$	$1.4 \times 10^{-4}$	$1.4 \times 10^{-2}$	$8.5 \times 10^{-5}$
水道利用	$1.3 \times 10^{-3}$	$7.0 \times 10^{-3}$	$3.0 \times 10^{-7}$	$3.8 \times 10^{-5}$	$1.0 \times 10^0$	$1.3 \times 10^{-2}$	$1.3 \times 10^1$	$7.8 \times 10^{-3}$
親水用水 1(公園)	$3.5 \times 10^{-6}$	$1.9 \times 10^{-5}$	$8.3 \times 10^{-10}$	$1.0 \times 10^{-7}$	$3.2 \times 10^{-1}$	$3.6 \times 10^{-5}$	$3.6 \times 10^{-3}$	$2.1 \times 10^{-5}$
親水用水 2(公園)	$2.1 \times 10^{-8}$	$1.2 \times 10^{-7}$	$5.0 \times 10^{-12}$	$6.2 \times 10^{-10}$	$2.3 \times 10^{-3}$	$2.2 \times 10^{-7}$	$2.2 \times 10^{-5}$	$1.3 \times 10^{-7}$
滝、噴水	$3.5 \times 10^{-6}$	$1.9 \times 10^{-7}$	$8.3 \times 10^{-12}$	$1.0 \times 10^{-9}$	$3.9 \times 10^{-3}$	$3.6 \times 10^{-7}$	$3.6 \times 10^{-5}$	$2.1 \times 10^{-7}$
トイレの水洗用水	$2.1 \times 10^{-10}$	$1.2 \times 10^{-9}$	$5.0 \times 10^{-14}$	$6.2 \times 10^{-12}$	$2.3 \times 10^{-5}$	$2.2 \times 10^{-9}$	$2.2 \times 10^{-7}$	$1.3 \times 10^{-9}$
修景用水(公園)	$3.7 \times 10^{-7}$	$2.0 \times 10^{-6}$	$8.6 \times 10^{-11}$	$1.1 \times 10^{-8}$	$4.0 \times 10^{-2}$	$3.7 \times 10^{-6}$	$3.7 \times 10^{-4}$	$2.2 \times 10^{-6}$
水洗用水(オフィス)	$9.1 \times 10^{-8}$	$5.0 \times 10^{-7}$	$2.2 \times 10^{-11}$	$2.7 \times 10^{-9}$	$1.0 \times 10^{-2}$	$9.3 \times 10^{-7}$	$9.3 \times 10^{-5}$	$5.6 \times 10^{-7}$
散水用水(公園)	$2.1 \times 10^{-7}$	$1.2 \times 10^{-6}$	$5.0 \times 10^{-11}$	$6.2 \times 10^{-9}$	$2.3 \times 10^{-2}$	$2.2 \times 10^{-6}$	$2.2 \times 10^{-4}$	$1.3 \times 10^{-6}$

表 8 試料中の病原性細菌に対する年間感染リスク値(B 市下水処理場放流水)

接触形態	大腸菌 (上水試験法)	大腸菌 (Real time PCR 検出)	嫌気性芽胞	腸球菌	カンピロ バクター	ノロウイ ルス G I	ノロウイ ルス G II	エンテロ ウイルス
水浴	$< 8.3 \times 10^{-8}$	$7.4 \times 10^{-9}$	$1.7 \times 10^{-9}$	$< 8.3 \times 10^{-8}$	$< 6.4 \times 10^{-3}$	$2.1 \times 10^{-4}$	$7.0 \times 10^{-3}$	$< 5.8 \times 10^{-7}$
水道利用	$< 7.5 \times 10^{-6}$	$6.8 \times 10^{-7}$	$1.5 \times 10^{-7}$	$< 7.5 \times 10^{-6}$	$< 4.4 \times 10^{-1}$	$1.9 \times 10^{-2}$	$4.7 \times 10^{-1}$	$< 5.3 \times 10^{-5}$
親水用水 1(公園)	$< 2.1 \times 10^{-8}$	$1.9 \times 10^{-9}$	$4.1 \times 10^{-10}$	$< 2.1 \times 10^{-8}$	$< 1.6 \times 10^{-3}$	$5.3 \times 10^{-5}$	$1.7 \times 10^{-3}$	$< 1.5 \times 10^{-7}$
親水用水 2(公園)	$< 1.2 \times 10^{-10}$	$1.1 \times 10^{-11}$	$2.5 \times 10^{-12}$	$< 1.2 \times 10^{-10}$	$< 9.7 \times 10^{-6}$	$3.2 \times 10^{-7}$	$1.0 \times 10^{-5}$	$< 8.7 \times 10^{-10}$
滝、噴水	$< 2.1 \times 10^{-10}$	$1.9 \times 10^{-11}$	$4.1 \times 10^{-12}$	$< 2.1 \times 10^{-10}$	$< 1.6 \times 10^{-5}$	$5.3 \times 10^{-7}$	$1.7 \times 10^{-5}$	$< 1.5 \times 10^{-9}$
トイレの水洗用水	$< 1.2 \times 10^{-12}$	$1.1 \times 10^{-13}$	$2.5 \times 10^{-14}$	$< 1.2 \times 10^{-12}$	$< 9.7 \times 10^{-8}$	$3.2 \times 10^{-9}$	$1.0 \times 10^{-7}$	$< 8.7 \times 10^{-12}$
修景用水(公園)	$< 2.2 \times 10^{-9}$	$1.9 \times 10^{-10}$	$4.3 \times 10^{-11}$	$< 2.2 \times 10^{-9}$	$< 1.7 \times 10^{-4}$	$5.6 \times 10^{-6}$	$1.8 \times 10^{-4}$	$< 1.5 \times 10^{-8}$
水洗用水(オフィス)	$< 5.4 \times 10^{-10}$	$4.8 \times 10^{-11}$	$1.1 \times 10^{-11}$	$< 5.4 \times 10^{-10}$	$< 4.2 \times 10^{-5}$	$1.4 \times 10^{-6}$	$4.5 \times 10^{-5}$	$< 3.8 \times 10^{-9}$
散水用水(公園)	$< 1.2 \times 10^{-9}$	$1.1 \times 10^{-10}$	$2.5 \times 10^{-11}$	$< 1.2 \times 10^{-9}$	$< 9.7 \times 10^{-5}$	$3.2 \times 10^{-6}$	$1.0 \times 10^{-4}$	$< 8.7 \times 10^{-9}$

表 9 年間感染リスク  $10^{-4}$  に達する細菌・ウイルス量

接触形態	大腸菌 (MPN/ml)	カンピロバクター (CFU/ml)	ノロウイルス (MPN/ml)
水浴	$1.3 \times 10^4$	$2.0 \times 10^{-1}$	$2.6 \times 10^1$
水道利用	$1.4 \times 10^2$	$2.0 \times 10^{-3}$	$3.0 \times 10^{-1}$
親水用水 1(公園)	$4.9 \times 10^4$	$7.0 \times 10^{-1}$	$1.1 \times 10^2$
親水用水 2(公園)	$8.1 \times 10^6$	$1.1 \times 10^2$	$1.8 \times 10^4$
滝、噴水	$4.9 \times 10^6$	$6.2 \times 10^1$	$1.1 \times 10^4$
トイレの水洗用水	$8.1 \times 10^8$	$1.1 \times 10^4$	$1.8 \times 10^6$
修景用水(公園)	$4.7 \times 10^5$	$6.0 \times 10^0$	$1.0 \times 10^3$
水洗用水(オフィス)	$1.9 \times 10^6$	$2.4 \times 10^1$	$4.0 \times 10^3$
散水用水(公園)	$8.1 \times 10^5$	$1.1 \times 10^1$	$1.8 \times 10^3$

## 4. 考察

### 4.1 A市浄化槽放流水とB市下水処理場放流水における病原性細菌の定量結果の比較

本試験では、浄化槽放流水試料から、下水処理場放流水試料と比較して高濃度の病原性微生物が培養法により検出された(表 5)。浄化槽放流水と下水処理場放流水では、水質基準および検査基準が定められており、浄化槽放流水と比較して下水処理場放流水の方が厳しいものである(表 10)。本試験において、A市浄化槽放流水中の大腸菌数は、基準値を下回る結果であったが、BOD および検査回数等を考慮すると、浄化槽放流水は、下水処理場放流水と比較して高い BOD 値であるなど水質が悪いために病原性細菌が多く残留していた可能性が考えられる。

表 10 浄化槽および下水処理場放流水の水質基準

	浄化槽放流水	下水処理場放流水
法令	浄化槽施行規則・水質汚濁防止法	下水道法
BOD(mg/L)	20 以下	15 以下
大腸菌群数(個/cm <sup>3</sup> )	3,000	3,000
遵守義務	遵守義務なし	遵守義務あり
検査回数	1 回/年	24 回/年
検査項目	5 項目	37 項目

### 4.2 培養法とリアルタイム PCR 法による検出による結果との比較

大腸菌に関しては、培養法とリアルタイム PCR 法の両方で定量を行ったところ、下水処理場放流水について、培養法では検出下限値以下であったが、リアルタイム PCR 法では検出することができた。その理由として、リアルタイム PCR 法では培養できない状態の細菌についても検出されること、および試料を 1L(培養法は 0.1ml および 100ml) 用いたことから、検出感度が高まり、検出されやすくなったことが考えられる。

一方、表 9 に示した通り、年間感染リスクが  $10^{-4}$  となる大腸菌数( $1.4 \times 10^2$ CFU/ml 以上) (大腸菌は通常、非病原性だが、中には人腸管内で増殖し、毒素を産生するなどの原因から下痢症を引き起こす種類があるとされている) は、培養法の検出下限値( $1.0 \times 10$ CFU/ml) よりも高濃度であることから、大腸菌の年間感染リスクを明らかにするには培養法を用いることで対応可能と考えられる。しかし、カンピロバクターについては、年間感染リスクが  $10^{-4}$  となる菌数( $2.0 \times 10^{-3}$ CFU/ml 以上) は培養法の検出下限値( $1.0 \times 10$ CFU/ml) よりも低濃度の場合がある(表 9)ことから、リアルタイム PCR 法の適用がより簡便と考えられる。

## 4.3 年間感染リスクに関して

### 4.3.1 病原性細菌

#### 1) A市浄化槽放流水

嫌気性芽胞および腸球菌はいずれの接触形態とも年間感染リスクは  $10^4$  以下であったが、大腸菌については、接触形態が水道利用の場合のみ年間感染リスクが  $10^4$  を超えていた。また、カンピロバクターについては、トイレの水洗用水以外の接触形態で年間感染リスクが  $10^4$  以上であることが示された(表 7)。この結果から、A 市浄化槽放流水はカンピロバクターによる感染リスクが高いと考えられる。カンピロバクターは微好気性または嫌気性菌であることから、放流水と酸素が接触する機会、頻度および量を増やす事がカンピロバクターによる感染リスクの低減対策の一つとして考えられる。

## 2) B 市下水処理場放流水

本研究において定量した病原性微生物はいずれの接触形態とも年間感染リスクは  $10^4$  以下であった。しかし、カンピロバクターについては、培養法による検出下限値( $1.0 \times 10^6$ CFU/ml) 以下であっても接触形態によっては年間感染リスクが  $10^4$  以上となる場合があることから、正確に年間感染リスクを評価するためには、リアルタイム PCR 法での問題点(死菌と生菌の区別なし)と培養法の問題点(仮死状態の菌を培養できない)を踏まえ、RNA を標的としたリアルタイム PCR 法等を検討することが必要と考えられる。

### 4.3.2 病原性ウイルス

#### 1) A 市浄化槽放流水

ノロウイルス G I は接触形態が水浴および水道利用の場合にのみ年間感染リスクが  $10^4$  以上を示し、ノロウイルス G II はこれらに加えて親水利用および散水利用の場合に年間リスクが  $10^4$  以上を示した。また、エンテロウイルスについては、接触形態が水道利用の場合にのみ年間リスクが  $10^4$  以上を示した。しかし、エンテロウイルスの年間感染リスク算出に用いたパラメーター値( $\alpha$ 、 $\beta$ ) は定められていないため、ノロウイルスの数値を代用して算出しており、本試験で得られた感染リスクの値の取り扱いには注意を要する。

#### 2) B 市下水処理場放流水

ノロウイルス G I、G II ともに、年間感染リスクが  $10^4$  以上であった接触形態は A 市浄化槽放流水と同じであった。B 市下水処理場放流水中に存在するノロウイルス G I、G II ともに A 市浄化槽放流水中と同じオーダーであり、処理方法の違いによる明らかな差が認められなかった。ノロウイルスを殺菌するためにはある濃度以上の次亜塩素酸ナトリウム処理が必要であり、ノロウイルスによる感染リスクの低減のためには次亜塩素酸ナトリウム処理が有効と考えられる。一方、エンテロウイルスの定量結果は検出下限値以下であり、年間感染リスクもいずれの接触形態とも  $10^4$  以下であることから、冬季における下水処理場放流水中のエンテロウイルスによる感染リスクは極めて低いと考えられる。

#### 3) ノロウイルスおよびエンテロウイルスの年間感染リスク評価

ノロウイルス感染症の発生件数は冬季 4 ヶ月(12~3 月) で年間の約 8 割を占める<sup>4)</sup>ことから、本試験で採取した試料(平成 23 年 2 月採取)中に存在したノロウイルス量は年間平均と比較すると多いと考えられるが、年間を通して定期的にモニタリングを行い、平均の感染リスク値を算出した数値は、表 7 に示した数値よりも低くなると考えられる。

これに対して、エンテロウイルスによる感染症は、夏季から秋季にかけて多く発生する<sup>18, 19)</sup>ため、本試験で採取した試料中に存在したエンテロウイルス量は年間平均と比較すると少ないと考えられるが、年間を通してモニタリングを行い、平均の年間感染リスク値を算出した上で、評価を行う必要があると考えられる。

浄化槽放流水に存在するノロウイルスおよびエンテロウイルスの年間感染リスクを正確に算出するために

は、本研究で用いた手法により、放流水中のウイルスの定量頻度を増やすことが必要であると考えられる。

## 5. 引用文献

1. Katayama H., Shimasaki A. and Ohgaki S. (2002) Development of a Virus Concentration Method and It's Application to Detection of Enterovirus and Norwalk Virus from Coastal Sea Water, *Applied and Environmental Microbiology*, **68**:1033-1039.
2. Bernasconi C, G Volponi, C Picozzi, and R Foschino. (2007) Use of the tna operon as a new molecular target for Escherichia coli detection. *Appl Environ Microbiol.* **73**:6321-6325.
3. 厚生労働省. 食安監発第 0514004 号
4. Rosa GL, Pourshaban M, Iaconelli M, and Muscillo M. (2010) Quantitative real-time PCR of enteric viruses in influent and effluent samples from wastewater treatment plants in Italy. *Ann Ist Super Sanita.* **46**:266-273.
5. Haas. CN (1996) Assessing the risk posed by oocysts in drinking water. *JAWWA*, **88**:131-136.
6. Haas CN (1983) Estimation of risk due to low doses of microorganisms: a comparison of alternative methodologies. *Am J Epidemiol.* **118**:573-582.
7. 金子光美監訳 水の微生物リスクとその評価 (2001b) 技報堂出版.
8. Gerba CP, and CN Haas. (1988) Assessment of risks associated with enteric viruses in contaminated drinking water. *ASTM Spec. Tech. Publ.* **976**:489-494.
9. Haas CN, JB Rose, C Gerba, and S Regli. (1993) Risk assessment of virus in drinking water. *Risk Anal.* **13**:545-552.
10. 金子光美 (2001a) 水道水基準の検討作業の総括、第 4 回日本水環境学会シンポジウム講演集、pp. 183-184.
11. (社) 日本下水道協会 (2000) 下水道におけるクリプトスポリジウム検討委員会最終報告
12. Asano T, LYC Leong, MG Rigby, and H Sakaji. (1992) Evaluation of the California wastewater reclamation criteria using Enteric virus monitoring data. *Water Sci Technol.* **26**:1513-1524.
13. Medema GJ PFM Teunis, AH Havelaar, and CN Haas. (1996) Assessment of the dose-response relationship of *Campylobacter jejuni*. *Int. J. Food Microbiol.* **30**:101-112.
14. 国土交通省 国土技術政策総合研究所 (2010) 下水道におけるウイルス対策に関する調査委員会報告書.
15. U.S. Environmental Protection Agency. 2001. National primary drinking waterstandards. EPA816-F-01-007. Office of Water, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.
16. Macler. B. (1993) Acceptable risk and US microbial drinking water standards. In G.F. Graun(ed.). Safety of water disinfection. ILIS Press. Washington DC.
17. Regli, S., P. Berger, B, Macler, and C. Haas. (1993) Proposed decision tree management of risks in drinking water. Consideration for health and socio-economic factors. Pp. 39-80. In G.F. Craun(ed.). Safety of drinking water. Balancing chemical and microbial risks, ILSI Press, Washington DC.
18. 厚生労働省医薬局食品保健部監視安全課. 平成 12 年食中毒統計. 平成 14 年 3 月
19. 国立感染症研究所感染症情報センターHP [http://idsc.nih.gov/idwr/kansen/k01\\_g2/k01\\_27/k01\\_27.html](http://idsc.nih.gov/idwr/kansen/k01_g2/k01_27/k01_27.html)

## 2. 都市におけるエネルギー需要・供給者間の連携と

### 温室効果ガス排出量取引に関する研究

下水処理研究室 室長 小越 眞佐司  
主任研究官 小川 文章  
研究官 藤原 隆司

#### 1. はじめに

平成 20 年 3 月に改定された「京都議定書目標達成計画」(以下「達成計画」という。)では、業務その他部門は、家庭部門とともに、「効果的な対策を抜本的に強化する」こととされており、「エネルギーの需要・供給に関連するそれぞれの主体は自らの役割を適切に認識し、自らが直接管理する範囲にとどまらず、他のエネルギー需要・供給者と連携してエネルギー効率の更なる向上を目指す」こととされている。

率先した取組が求められる地方公共団体の事務・事業から排出される GHG の大部分は公益事業から排出されているが、例えば下水汚泥を原料とするバイオ燃料を他の需要者に供給するなど、都市の公益事業相互の連携、公益事業と民間主体との連携によって効率的に GHG の排出を削減できる可能性が高いものと期待される。

また、国内排出量取引について、達成計画では、「他の手法との比較やその効果、産業活動や国民経済に与える影響、国際的な動向等の幅広い論点について、具体案の評価、導入の妥当性も含め、総合的に検討していくべき課題である」とされており、東京都では、平成 22 年度から都内の大規模事務所を対象に GHG 排出の削減を義務付け、同時に排出量の取引制度(以下「東京都の制度」という。)も導入することとし、「都民の健康と安全を確保する環境に関する条例」の改正を行った。しかしながら、国内排出量取引については、制度設計次第では、都市におけるエネルギー需要・供給者間の連携を阻害するおそれもあることから、事前に十分な影響評価を行うとともに、都市計画とのポリシーミックスについて検討する必要がある。

本研究は、研究成果として、(a) 連携技術の事例評価と適用可能な最新技術メニュー、(b) 連携技術の事業性診断に関する指針、(c) 都市計画と排出量取引とのポリシーミックスのあり方の 3 つの指針等を作成し、GHG 排出削減効果に関する連携プロジェクトの適正な評価と促進、並びに都市計画と協調した国内排出量取引の制度設計の検討に資することを目的とする。

本研究の 2 年目である平成 22 年度は、エネルギー連携事業のフィージビリティについて多面的に検討するため、潜在的な供給者である下水処理場、汚泥処理施設並びに、潜在的な需要者である火力発電所、ガス供給施設、廃棄物発電施設、製造業等エネルギー管理指定工場の立地・需給量等に関する情報を収集し、需要者・供給者間の立地特性等について整理した。また、代表的なエネルギー連携事業について抽出し、事業採算性等の事業成立条件について検討・試算を行った。さらに、温室効果ガス排出量取引を導入した場合の、下水道等のエネルギー連携事業への影響についても調査した。なお、本研究は都市研究部都市施設研究室と共同で実施しており、本稿は下水処理研究室担当部分の報告である。

#### 2. 方法

##### 2.1 下水道等のエネルギー連携事業の潜在的な供給・需要者の全国情報の収集・整理

エネルギー連携事業のフィージビリティについて検討するため、潜在的な供給者としての下水処理場、汚泥処理施設と、潜在的な需要者としての火力発電所、ガス供給施設、廃棄物発電施設、製造業等エネルギー管理指定

工場の立地・需給量等に関する情報をアンケート調査や既往文献から収集整理した。その上で、下水道管理者のエネルギー連携事業に対する関心度、事業実施例、供給及び需要施設の全国分布や施設間距離等の立地特性、資源供給可能量等について整理した。下水処理場、汚泥処理施設のデータについては、アンケートが回収できた全国1,763施設から、所在地等の情報を得るとともに、「下水道統計」から下水及び汚泥処理量等を抽出した。また、火力発電所、ガス供給施設、廃棄物発電施設、製造業等エネルギー管理指定工場の情報については、「電力調査統計」、「廃棄物年鑑」、「資源エネルギー庁名簿」、「温室効果ガス特定排出者データベース」等から入手した。

## 2.2 下水道等のエネルギー連携事業の経済性及び事業成立条件の分析

アンケート調査から得られた43例の下水道等のエネルギー連携事業の実施例の中から、今後、事業場間の連携を促進していく上で期待できる技術として、①生ゴミ等のバイオマスを外から受け入れることによる消化ガス増産技術、②消化ガスの都市ガスへの利用技術、③燃料化汚泥による発電技術を取り上げ、経済性について試算を行った。①については北海道北広島市、②については新潟県長岡市、③については福岡県御笠川浄化センターの例を参考として試算のためのモデル化を行い、一定期間（15年程度）における事業収支（キャッシュフロー）から算出したIRR（内部収益率）とDSCR（債務返済指数）などの投資効率評価指標を用いて事業採算性について評価した。

## 2.3 温室効果ガス排出量取引による下水道等のエネルギー連携事業への影響調査

温室効果ガス排出量取引制度が下水等のエネルギー連携事業に与える影響について検証するため、広島市西部水資源再生センター下水汚泥燃料化事業を選定し、事業採算性の試算を行った。当該事業は、エネルギー需要量が多い火力発電向けの低温炭化燃料製造事業であり、脱水汚泥を石炭混焼用燃料として有効利用しようとするものである。現在、施設を建設中であるが、広島市では平成22年10月より排出権取引制度を導入しており、温暖化対策条例により、市内大規模事業者（エネルギー消費量1500k1/年以上）に届け出義務を課している。現状では温室効果ガスの削減義務は無く、事業者の自主性に委ねられている。

## 3. 結果および考察

### 3.1 下水道等のエネルギー連携事業の潜在的な供給・需要者の全国情報の収集・整理

#### 3.1.1 下水道管理者に対するアンケート調査結果

下水道等のエネルギー連携事業を推進するためには、第一に下水道管理者が当該事業に対し関心を持つことが必要であることから、全国の下水道管理者に対しアンケート調査を実施し、エネルギー連携事業への関心の有無、事業実施に当たっての課題、国に対する意見・要望等について整理した。

回答のあった777団体のうち約4%（32団体）が既に何らかの連携事業を実施済みであり、約6%（48団体）が検討中であったが、関心が無い団体が469団体と全体の60%を占めていた。また、事業の検討をしていない団体に対し、課題・障害について聞いた結果、「事業の採算性」が最も多く約7割を占めていた。その他の理由としては「事業を推進・担当する人材の不足」、「技術情報の不足」、「連携可能な事業者の不在」、「規模の小ささ」、「維持管理の複雑化懸念」、「面整備が優先」などであった。また、人口規模の大きい自治体ほど、連携事業の実施例が多く、関心が高い傾向が見られた。

#### 3.1.2 下水処理場と各種事業場の距離の関係

アンケート調査において「エネルギー連携事業を実施済み」と回答した28団体について、下水処理場と連携相手の事業者との距離の関係について整理したところ、11箇所（約40%）が1km以内、6箇所（約21%）が1～3km、

2箇所(約7%)が3~5kmであり、約7割の連携事業が下水処理場から5km以内で実施されていることが分かった。

また、下水処理場と各種事業場の今後のエネルギー連携事業の潜在的可能性について検討するため、連携相手として有望なごみ処分業、エネルギー供給業、第1種製造業について、下水処理場からの距離関係について整理した。

図-1は、横軸に事業場と下水処理場の直線距離を5kmまでは1km単位で、その後は10、20、30kmと10km単位で分類し、縦軸には、分類した距離の範囲内に含まれる事業場の累計数を示したものである。いずれの業種においても、事業場の累計数は処理場からの距離と相関が高く(事業場数1のガス供給業を除き、相関係数0.95~0.99)、グラフは上に凸の形状をしている。これは、下水処理場に近い場所ほど事業場の密度が高いことを示しており、下水処理場と各種事業場は比較的立地条件が類似しており近接した場所に位置していることを示している。

また、事業場数では、ごみ処分業、化学工業、窯業・土石製品供給業などの数が多い。窯業・土石製品供給業では、下水汚泥焼却灰のセメント原料等としての利用が、化学工業などでは消化ガスやバイオ原料としての利用が今後有望であると考えられる。

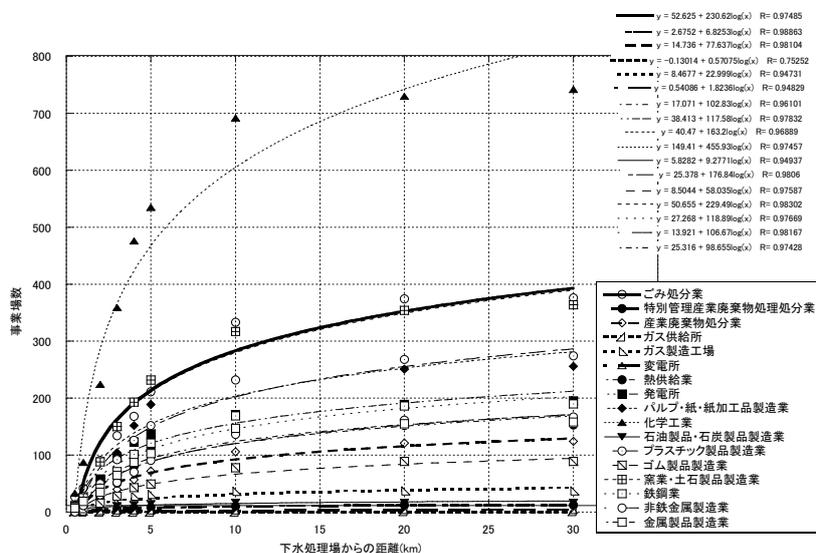


図-1 下水処理場から事業場までの距離と累計事業場数

### 3.1.3 下水汚泥及び消化ガスの供給ポテンシャル

次に、下水処理場が有する潜在的資源量(脱水汚泥(千t)、消化ガス(千m<sup>3</sup>))と各事業場から最寄りの下水処理場までの距離との関係について整理した。図-2は、横軸に各事業場から最寄りの下水処理場までの距離、縦軸に下水処理場の累積資源量をとったグラフのイメージ図である。グラフが上に凸の形状になっている場合、事業場から近い場所に潜在的資源を多く有する下水処理場が存在していることを示している。ただし、実際には、各処理場が有する潜在的資源を全量利用可能な事業場が周辺に立地しているとは限らないため、下水処理場で生じた汚泥やガスが全量利用できるものではないことに注意する必要がある。

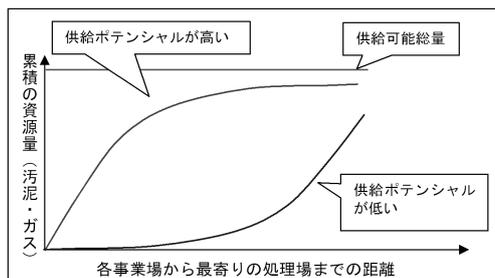


図-2 各事業場から下水処理場までの距離と累積資源量のイメージ図

このグラフを主な事業種別に作成したところ、ごみ処分業、発電所、化学工業、窯業・土石製品製造業のグラフは形状が上に顕著な凸となった。これらの事業種は処理場近傍の事業場密度が高く、累積資源量（脱水汚泥量、ガス量）も比較的多いことから、連携事業相手として有望であると思われる。（図-3～6）

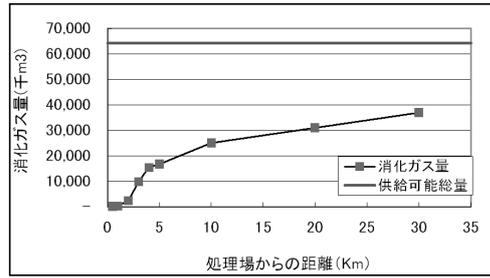
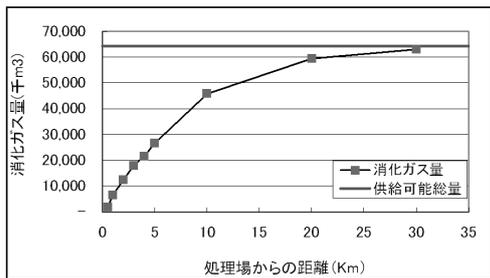
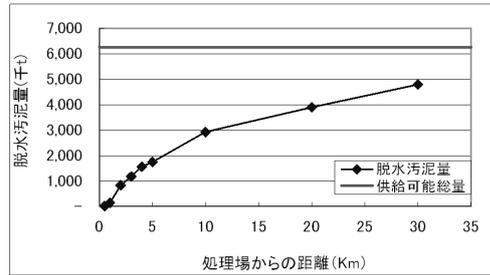
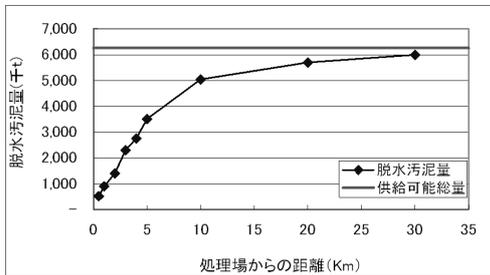


図-3 ごみ処分業～処理場間距離と累積資源量の関係

図-4 発電所～処理場間距離と累積資源量の関係

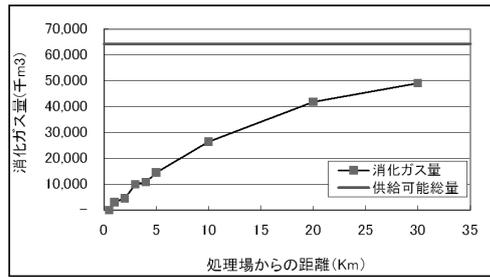
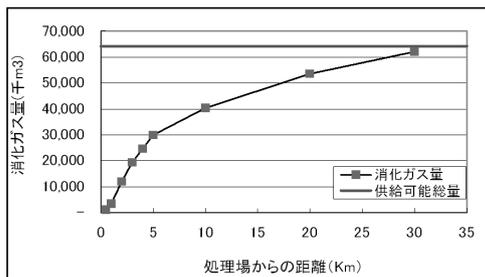
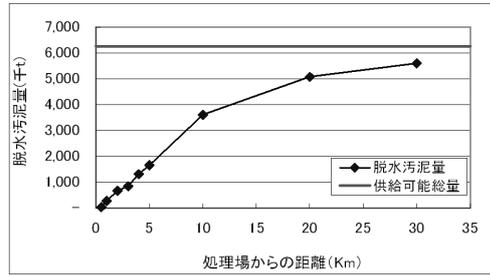
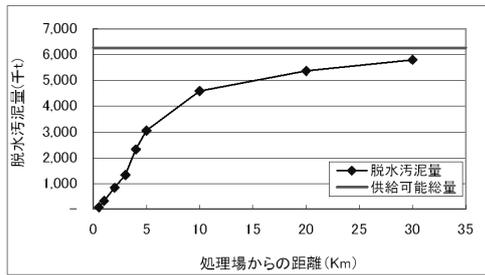


図-5 化学工業～処理場間距離と累積資源量の関係

図-6 窯業・土石製品製造業～処理場間距離と累積資源量の関係

また、上記以外の業種も含めて、下水道との連携事業実施が効果的かつ有望であると思われる事業について以下のとおり2タイプに整理した。

- ・処理場周辺に位置する事業所の数が多い業種  
 (ごみ処分業(382 箇所)、化学工業(747 箇所)、窯業・土石製品製造業(366 箇所))
- ・処理場周辺に位置する事業所の数は多くないものの、大規模な処理場の周辺に多い業種  
 (熱供給業(153 箇所)、発電所(215 箇所)、パルプ・紙・紙加工品製造業(258 箇所))

資源エネルギー庁の「エネルギー消費統計平成20年版」によると、「ごみなどの廃棄物処理業」、「化学工業」、「窯業・土石製品製造業」等は、石炭、都市ガス、他の再生可能・未活用エネルギー等を非常に多く使用している業種であり、下水道資源はこれらの代替エネルギー源として有望であることから、下水道資源の利用に最も適した業種であると考えられる。

### 3.2 下水道等のエネルギー連携事業の経済性及び事業成立条件の分析

#### 3.2.1 生ゴミ等のバイオマスを外から受け入れることによる消化ガス増産事業の試算例（北広島市の例）

市内で発生した脱水汚泥（日量130 t程度）、生ごみ（日量17t程度）及びし尿・浄化槽汚泥（日量40t程度）から消化ガスを発生させ、消化槽の加温及び消化汚泥の乾燥熱源として利用するケースをモデルとして計算した。

表-1のキャッシュフロー等をもとに、投資効率評価指標であるIRR（内部収益率）とDSCR（債務返済指数）を算定したところ、表-2の結果が得られた。

DSCRはほぼ100%となり、IRRもほぼ0%となったことから、現在の条件では事業収支は均衡しているものと判断できる。また、図-7に示す通り、DSCR100%を事業成立要件として考えた場合、重油価格76.2円が事業成立の分岐点である。

表-1 検討条件

検討条件(1)		項目	単位	H23~H24	H25~
重油代削減分	削減量	L/年		169,300	169,300
	単価	円/L		76.0	76.0
		円/年		12,866,800	12,866,800
生ごみ埋立費削減分	処理量	t/年		6,205	6,205
	単価	円/t		20,000	20,000
		円/年		124,100,000	124,100,000
し尿・浄化槽汚泥処理費削減分		円/年		150,000,000	
事業収入合計		円/年		136,966,800	286,966,800

表-2 投資評価指標

投資評価指標	NPV(正味現在価値)	円	(640,264,083)
	DSCR(債務返済指数)	%	99.7%
	IRR(内部収益率)	%	-0.02%

検討条件(2)		項目	単位	H23~H24
イニシャルコスト	建設費	円		2,100,000,000
	補助金	円		756,000,000
	実質建設費	円		1,344,000,000
	借入金の返済期間	年		15
	借入金利	%		1.3
	償却年数	年		15
	事業開始からの経過年数(事業年度)	年		11
	割引率	%		4.0
	イニシャルコスト合計	円		1,344,000,000
	維持管理費(H23~24 人件費含む)	円		100,000,000
維持管理費(H25~ 人件費含む)	円		150,000,000	

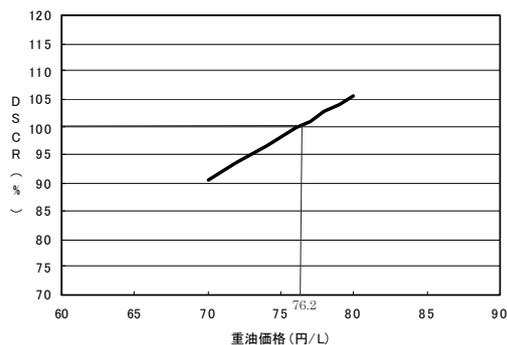


図-7 事業成立分岐点

#### 3.2.2 消化ガスの都市ガス利用事業の試算例（長岡市の例）

市内の下水処理場で発生する消化ガス（180万 $m^3$ ）のうち、37%を消化タンク加温用ボイラの燃料として、63%を場内冷暖房設備の燃料（年間2万 $m^3$ ）やガス会社へ都市ガス原料（年間約60万 $m^3$ ）として供給するケースをモデルとして計算した。表-3のキャッシュフロー等から、投資効率評価指標であるIRR（内部収益率）とDSCR（債務返済指数）を算定したところ、表-4の結果が得られた。

DSCRは100%を大きく上回り、IRRも長期的金利水準等と比較して高い水準にあるため、採算性の高い事業であると判断できる。また、図-8に示す通り、DSCR100%を事業成立要件として考えた場合、売ガス価格19.7円/ $m^3$ が事業成立の分岐点である。

#### 3.2.3 燃料化汚泥による発電事業の試算例（福岡県の例）

市内の下水処理場で発生した脱水汚泥（年間約9,300トン）を油温減圧乾燥機により乾燥させ、乾燥汚泥（年間約2,400トン）製造し、乾燥汚泥を火力発電所の石炭代替燃料として販売するケースをモデルとして計算した。表-5のキャッシュフロー等から、投資効率評価指標であるIRR（内部収益率）とDSCR（債務返済指数）を算定した

ところ、表-6のようになった。キャッシュフロー現在価値換算(NPV)はマイナスとなり、DSCRもマイナスとなったため、設定した条件では投資困難な事業である。

また、図-9に示す通り、DSCR100%が事業成立要件として考えた場合、乾燥汚泥販売価格は10,605円/tが事業成立の分岐点であるが、実際には2,000円/tであるため採算が取れない状態である。

表-3 検討条件

検討条件(1)			
項目	単位	既定値利用	値
売ガス収入	販売量	m <sup>3</sup> /年	600,000
	販売単価	円/m <sup>3</sup>	20.0
		参考値利用	12,000,000
事業収入合計	円/年	—	12,000,000

検討条件(2)		
項目	単位	値
建設費	円	220,000,000
補助金	円	170,500,000
実質建設費	円	49,500,000
借入金の返済期間	年	15
借入金利	%	1.3
償却年数	年	15
事業開始からの経過年数(事業年度)	年	11
割引率	%	4.0
イニシャルコスト合計	円	49,500,000

表-4 検討条件

投資	NPV(正味現在価値)	円	(3,500,944)
評価	DSCR(債務返済指数)	%	140.6%
指標	IRR(内部収益率)	%	3.3%

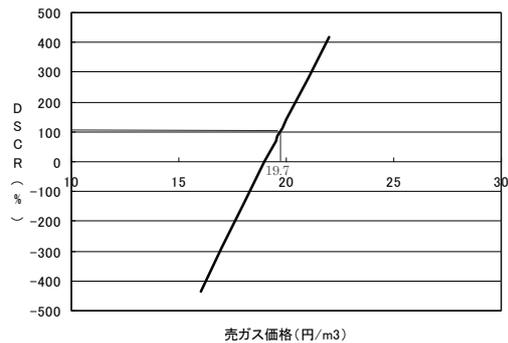


図-8 事業成立分岐点

表-5 検討条件

検討条件(1)			
項目	単位	既定値利用	値
乾燥汚泥売却費	売却量	t/年	2,400
	単価	円/t	2,000
		参考値利用	4,800,000
脱水汚泥処理費	処理量	t/年	9,300
	単価	円/t	30,000
事業収入合計	円/年	—	279,000,000

検討条件(2)		
項目	単位	H23~H24
建設費	円	5,000,000,000
補助金	円	3,875,000,000
実質建設費	円	1,125,000,000
借入金の返済期間	年	15
借入金利	%	1.3
償却年数	年	15
事業開始からの経過年数(事業年度)	年	10
割引率	%	4.0
イニシャルコスト合計	円	1,125,000,000
維持管理費(人件費含む)	円	210,000,000

表-6 検討条件

投資	NPV(正味現在価値)	円	(2,057,847,956)
評価	DSCR(債務返済指数)	%	-120.3%
指標	IRR(内部収益率)	%	#DIV/0!

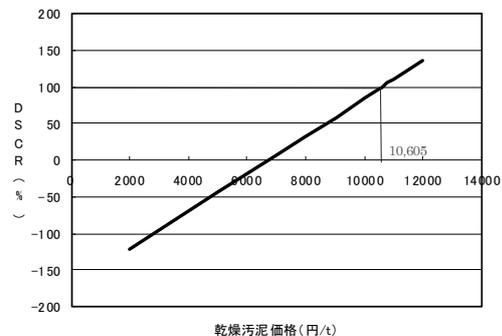


図-9 事業成立分岐点

### 3.2.4 事業推進に必要なその他の条件

既に連携事業を実施している地方自治体に対し事業実施の経緯や効果等についてヒアリングした結果、事業を検討・実現するための条件として、補助制度などを含む経済性の他、地域課題の綿密な分析、事業実施体制の充実、行政・民間企業等の密な連携、建築基準法第51条ただし書きに基づく都市計画決定手続き等の課題への対応が必要であることが分かった。このため、円滑な事業推進のためには経済性以外の面についても並行して関係者間で調整していく必要がある。

### 3.3 温室効果ガス排出量取引による下水道等のエネルギー連携事業への影響調査

平成 22 年度末現在、国内において温室効果ガスの排出量取引制度が導入されているのは東京都、大阪府、広島市である。これらの制度は全て一定規模以上の大規模事業者限定されており、下水処理場も適用対象施設である。3 都市のうち、東京都についてはオフィスビルで 8 % の削減義務が課せられているが、大阪府及び広島市については届出及び報告義務のみであり、削減義務は無い。

これら 3 都市のエネルギー連携事業の中から、汚泥燃料による火力発電事業であり、他の事例に比べて温室効果ガス削減効果が大きいと考えられる低温炭化燃料製造技術を採用している「広島市西部水資源再生センター下水汚泥燃料化事業」をモデルに、温室効果ガスの排出量取引制度を導入した場合の事業採算性への影響について試算した。なお、試算に用いた排出量取引制度には、事業スキームが広く全国的に認知されており、広島市の制度でもクレジット算入が認められている「環境省の J-VER 制度」を採用した。

### 3.3.1 事業の概要

広島市西部水資源再生センター下水汚泥燃料化事業の概要は図-10 に示す通りであり、広島市の西部水資源再生センターで発生した脱水汚泥を、民間企業 4 者の共同出資会社である（株）バイオコール広島西部で低温炭化した後、約 70km 離れた竹原市の火力発電所に輸送し、発電用燃料として利用する事業である。当該事業は、平成 23 年 3 月現在、炭化施設を建設中であり、汚泥処理能力は 50t/日×2 系列、計画汚泥処理量が約 28,000t/年に対し、計画燃料化物生成量は約 4,500t/年である。設備は広島市が所有し、期間 20 年間の DBO 方式で運営される予定である。

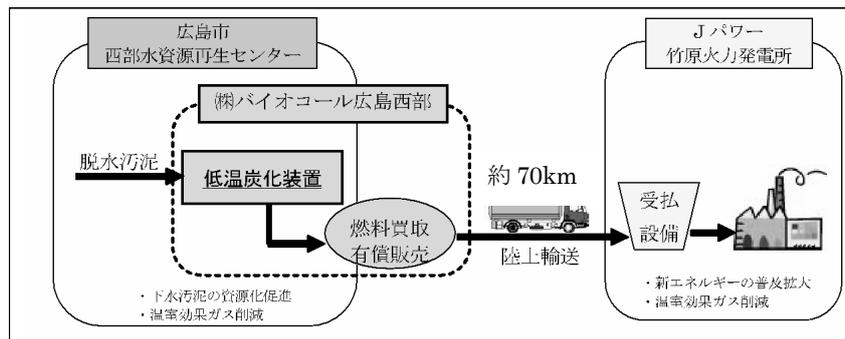


図- 10 広島市西部水資源再生センター下水汚泥燃料化事業フロー

### 3.3.2 試算結果

当事業の各プロセスにおける温室効果ガス削減量及び排出量について、事業者の発表資料などから試算した結果は以下の通りであり、事業全体としての温室効果ガス削減量は、16,020 t-CO2/年 となった。

・ 下水処理場における温室効果ガス削減量	約 9,700 t-CO2/年 (減少)
・ 火力発電所における温室効果ガス削減量	約 6,400 t-CO2/年 (減少)
・ 下水処理場から火力発電所への運搬時における温室効果ガス排出量	約 80 t-CO2/年 (増加)
↓	
・ <u>事業全体の温室効果ガス削減量</u>	<u>(9,700 + 6,400 - 80) = 16,020 t-CO2/年 (減少)</u>

当事業が環境省の「J-VER」制度に参加することにより見込まれるクレジット売却収入とプロジェクト申請、クレジット発行、モニタリング等に要する経費について表-7 に示す。事業期間は 15 年、クレジット単価を 5 千円

/t-CO2 とした場合、クレジット関連経費を除いた売却収支は、78,933 千円/年となった。

表- 7 排出量取引制度 (J-VER) に参加した場合の収支

項目		算定式	金額
クレジット売却収入 ①		排出削減量16,020t-CO2/年×クレジット単価5千円/t-CO2	80,100千円/年
費用	プロジェクト申請	1,000千円/15年÷事業期間15年	67千円/年
	クレジット認証	1,500千円/15年÷事業期間15年	100千円/年
	モニタリング	—	1,000千円/年
計 ②		—	1,167千円/年
クレジット売却収支		①—② =80,100千円/年—367千円/年	78,933千円/年

#### 4. おわりに

エネルギー連携事業のフィージビリティについて多面的な検討を行うため、下水道施設と他事業種の立地特性や需給量等に関する分析を行い、下水道事業と連携することによる効果が大きいと思われる事業を抽出した。また、3つの代表的なエネルギー連携事業をモデルとして、事業採算性その他の事業成立条件について分析した。その結果、下水道資源の売却価格の高低や補助金の有無、初期建設コストの高低等の影響が大きいことが分かった。

さらに、温室効果ガス排出量取引制度を導入した場合の影響について、広島市の事例を参考に試算した結果、年間で約 8,000 万円の売却収入が得られることが分かった。なお、本研究は、技術研究開発推進費で実施されたものである。

#### 参考文献

- 1) 社団法人日本下水道協会：平成 20 年度版下水道統計、2010. 7.
- 2) 資源エネルギー庁：電力調査統計、2010.
- 3) 環境産業新聞社：廃棄物年鑑、2010 年版
- 4) 資源エネルギー庁：エネルギー管理指定工場名簿、2010. 3.
- 5) NPO 法人 有害化学物質削減ネットワーク：温室効果ガス特定排出者データベース
- 6) 資源エネルギー庁：エネルギー消費統計 平成 20 年度版
- 7) 環境省：オフセット・クレジット(J-VER)の排出削減・吸収量の算定及びモニタリングに関する方法論
- 8) 広島市：市民参加の CO2 排出量取引制度、2010
- 9) 社団法人日本下水道協会資料：長岡市消化ガス都市ガス供給事業概要
- 10) 社団法人日本下水道協会資料：福岡県御笠川浄化センター油温減圧乾燥事業概要
- 11) 電源開発株式会社：広島市西部水資源再生センターにおける下水汚泥燃料化事業会社「株式会社バイオコーポラ広島西部」の設立について、2010. 3.

### 3. 持続可能な水利用を実現する革新的な技術とシステム

#### ～21世紀型都市水循環系の構築のための水再生技術の開発と評価～

下水道研究部 下水処理研究室 室長 小越 眞佐司  
研究官 宮本 綾子  
研究官 西村 峻介  
環境研究部 環境研究官 吉谷 純一  
河川研究部 水資源研究室 主任研究官 山本 陽子

#### 1. はじめに

現代文明を支える 20 世紀型水利用システムは、自然の水循環を改変して都市と工業および農業に水を供給・利用し排水を浄化して自然の循環系に戻す一過性のシステムであり、その建設、運用および改廃の各段階で多くの資源・エネルギーを消費し大量の温室効果ガスを排出している。そのため、21 世紀型の新たな水利用システムでは、資源・エネルギーの大量消費から脱却し、制約された条件の下で需要に応じた供給を実現し、持続可能な低炭素社会実現に寄与することが求められている。

本研究は、現行の水利用システムに、一部人為的な循環系と重層的な水利用を組み入れた新たな循環型水利用システムの導入による水利用システム全体としてのエネルギー削減効果、環境効果を評価することを目的としている。ここで、新たな循環型水利用システムとは、水需要の高い都市域に位置する下水処理場やサテライト処理施設を新たな水源と考え、再生水をトイレ洗浄水や散水用水、農業用水などの非飲用用途に再利用することによって、水輸送に係るエネルギーを削減し、流域全体の水利用に係るエネルギー消費の削減を図るシステムである。

なお、本研究は、独立行政法人科学技術振興機構のCREST（戦略的創造研究推進事業）の領域研究「持続可能な水利用を実現する革新的な技術とシステム」において課題名「21世紀型都市水循環系の構築のための水再生技術の開発と評価」の下で実施している京都大学との共同研究であり、国土技術政策総合研究所（以下、「国総研」という。）では、「新しい循環型水利用システムのエネルギー評価」を担っている。

#### 2. 新しい循環型水利用システムのエネルギー評価へのアプローチ

新たな循環型水利用システムの構築にあたっては、水再生処理技術を付加することによるエネルギー必要量の増加や循環型水利用による衛生的リスクといった負の効果と、水輸送距離の短縮によるエネルギー効率の向上、水源からの取水量、公共用水域への放流量の低減による環境負荷の低減、渇水時の水不足リスクの低減、河川環境の健全度向上といった正の効果を総合的に評価する必要がある。

そのため、国総研では、①対象流域における上中下水道・河川施設のエネルギー消費の調査、②新しい水再生処理技術のエネルギー消費量の調査、③河川流量の確保や下水処理場からの排出量負荷低減などの環境効果評価手法の検討、④都市の水循環エネルギーとリスク削減・環境効果等の総合的評価手法の検討、の4つを大きな研究課題として設け、研究を進めているところである。

平成 22 年度は、研究課題①として、過年度に選定した 12 都市を検討対象として、現行の上水道システム

におけるエネルギー消費構造を明らかにすることを目的に調査を行った。

### 3. 現行の上水道システムにおけるエネルギー消費構造の明確化

#### (1) 調査方法

既存の上水道システムのエネルギー消費構造を明らかにするため、統計資料<sup>1)</sup>に基づき、12都市における現行の水利用システムに係るCO<sub>2</sub>発生率を試算する。表-1に対象都市の水利用に関する概要を示す。

表-1 対象都市の概要

対象地域	地形	人口密度 (人/km <sup>2</sup> )	想定用途	取水量合計 (千m <sup>3</sup> )	うち受水量 (千m <sup>3</sup> )	受水量 割合(%)
札幌市	平坦地	1,699	雑用水、融雪用水	200,788	0	0.0
新潟市	平坦地	1,119	雑用水	116,284	8,488	7.3
君津市	平坦地	279	工業用水、雑用水、環境用水	11,451	5,430	47.4
新城市	丘陵	101	農業用水、工業用水	4,722	2,414	51.1
堺市	平坦地	5,586	雑用水、工業用水、環境用水	104,238	103,717	99.5
神戸市	傾斜地	2,783	雑用水、環境用水	212,083	178,947	84.4
広島市	平坦地	1,293	雑用水	147,360	6,380	11.1
高松市	平坦地	1,116	雑用水	52,563	30,084	57.2
多度津町	平坦地	965	農業用水、環境用水、地下水涵養	4,046	1,557	38.5
福岡市	平坦地	4,251	雑用水、環境用水	147,214	53,954	36.7
長崎市	傾斜地	1,093	雑用水	47,671	0	0.0
糸満市	平坦地	1,220	農業用水、雑用水	6,524	6,524	100.0

CO<sub>2</sub>発生率の試算は、以下に示す式(1)~(4)によるものとし、試算対象範囲は、各モデル候補都市の水道事業者が行う取導水、浄水、送水、配水プロセスとした。また、試算対象項目は各プロセスにおける電力、薬品(次亜塩素酸ナトリウム、PAC、苛性ソーダ、粉末活性炭、粒状活性炭)、燃料(揮発油、灯油、軽油、A重油、LNG、都市ガス)の消費量とする。各水道事業者の年間取水量(千 m<sup>3</sup>)、電力消費量(kWh<sup>\*</sup>)、薬品消費量(kg または t<sup>\*</sup>)、燃料消費量(MJ<sup>\*</sup>)は、水道統計(2006年版)から引用し、電力、薬品、燃料の各原単位(kg-CO<sub>2</sub>/\*)を用いて、CO<sub>2</sub>発生量に換算する。また、各モデル候補都市で水道事業者以外の水道水供給事業者(県や公団)からの水供給がある場合は、受水分としてCO<sub>2</sub>発生量を(4)式によって推定し、加算する。

$$CO_2 \text{ 発生率}(kg-CO_2/m^3) = \text{年間} CO_2 \text{ 発生量}(kg-CO_2/\text{年}) / \text{年間取水量}(m^3/\text{年}) \dots (1)$$

$$\begin{aligned} \text{年間} CO_2 \text{ 発生量}(kg-CO_2/\text{年}) &= \text{年間} CO_2 \text{ 発生量}[\text{水道事業者}](kg-CO_2/\text{年}) \\ &+ \text{年間} CO_2 \text{ 発生量}[\text{受水分}](kg-CO_2/\text{年}) \dots (2) \end{aligned}$$

$$\text{年間} CO_2 \text{ 発生量}[\text{水道事業者}] = \text{電力由来} CO_2 + \text{薬品由来} CO_2 + \text{燃料由来} CO_2 \dots (3)$$

$$\begin{aligned} \text{年間} CO_2 \text{ 発生量}[\text{受水分}](kg-CO_2/\text{年}) &= \text{供給先の年間} CO_2 \text{ 発生量}(kg-CO_2/\text{年}) \\ &\times \{ \text{受水量}(m^3/\text{年}) / \text{供給先の総取水量}(m^3/\text{年}) \} \dots (4) \end{aligned}$$

#### (2) 試算結果及び考察

CO<sub>2</sub>発生率を試算した結果を図-1に示す。モデル候補都市の中では、糸満市のCO<sub>2</sub>発生率が、1.25 kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>となり最も高い値を示した。一方、最も低い札幌市のCO<sub>2</sub>発生率は、0.11 kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>となり、糸満市と比較しておよそ1/10程度となった。

全国の水道事業者及び水道水供給事業者を対象とした場合のCO<sub>2</sub>発生率は、0.33 kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>であり、都市によって水供給に係るCO<sub>2</sub>発生率に大きなばらつきがみられることが明らかとなった。また、全ての都市で、電力由来のCO<sub>2</sub>発生割合が9割程度を占めていることが確認できた。

ここで、電力由来のCO<sub>2</sub>発生率は、都市ごとに電力供給を受けている電力会社が異なり、また発電方法等によりCO<sub>2</sub>排出量の原単位が異なるため、それぞれ該当する原単位を用いて換算した。

糸満市に電力を供給している沖縄電力の原単位は、国内の電力会社で最も高く0.931kg-CO<sub>2</sub>/kWhであり、最も低い関西電力の原単位0.294kg-CO<sub>2</sub>/kWhと比較して約3.2倍となった。これは、糸満市のCO<sub>2</sub>発生率の試算結果が高くなった原因の一つと考えられた。さらに、糸満市は、水供給が可能な水源を市内や近郊に有していないため、水供給の全量を供給事業者からの給水で賄っている。その結果、糸満市の供給事業者からの給水は沖縄本島北部からの長距離送水が必要となることから、受水（電力）由来の割合が他都市と比較して大きくなっていると考えられた。一方、最もCO<sub>2</sub>発生率の低い札幌市は、市内の中央部を横断する豊平川が水道水源の98%を賄っていることに加えて、冬季の降雪量が多いため、夏季近くまで融雪水や涵養水が貯えられることから、豊富な水資源を有している。そのため、水源からの送水に係る電力消費が小さく、受水による水供給が0となっていることからCO<sub>2</sub>発生率が小さくなっていると考えられた。

また、受水（電力）由来以外の電力由来のCO<sub>2</sub>発生率割合が比較的高い君津市、新城市、広島市、多度津町、長崎市では、UF膜（新城市）、NF膜+RO膜（多度津町）、エアレーション（君津市、長崎市、広島市）といった電力消費の大きい高度浄水処理を行っていることから、CO<sub>2</sub>発生率が大きくなっていると考えられた。

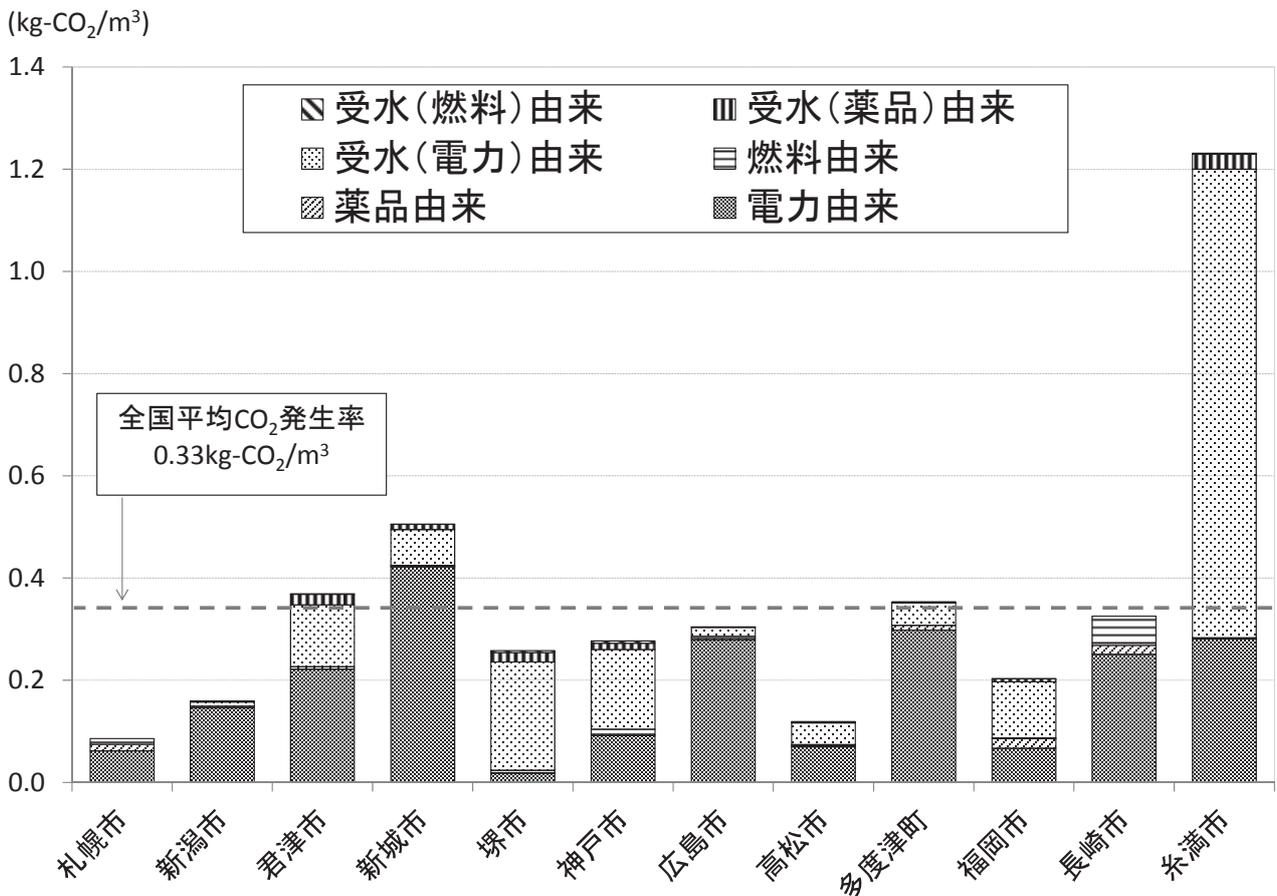


図-1 各都市における水供給に係るCO<sub>2</sub>発生率

### (3) 循環型水利用システムによるエネルギー消費低減の可能性

国総研の過年度調査結果<sup>2)</sup>では、下水処理水を再生処理し、トイレ洗浄用水や散水用水（以下、「雑用水等」という。）として一定の地域に送水する広域循環利用を行った場合は、送水距離や再生処理レベルによるものの、電力消費、薬品使用による運転由来の CO<sub>2</sub> 発生率は 0.29kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> と試算されており、施設の建設を含めた LC-CO<sub>2</sub> 発生率で 0.49kg-CO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup> と試算されている。この結果と本調査で試算した各都市における水供給に係る CO<sub>2</sub> 発生率を比較すると、再生水利用による水供給の CO<sub>2</sub> 発生率は決して高いレベルではないことが明らかとなった。加えて、再生処理技術は、発展途上であり、今後もさらなる省エネルギー型の処理技術の開発が期待される。

既存の上水システムは、利用用途によらず飲用可能な浄水レベルの水を一律に供給している。そのため、雑用水等として利用する水量を、供給先に比較的近い下水処理場やサテライト施設から再生水で賄うことで、長距離送水が必要な場合や高度浄水処理を採用している場合には、上下水道システム全体として、CO<sub>2</sub> 発生量を低減することが可能であることが示唆された。

#### 参考文献

- 1) 社団法人日本水道協会、平成 20 年度 水道統計
- 2) 国土技術政策総合研究所、平成 21 年度下水道関係調査研究年次報告書集、国土技術政策総合研究所資料 No.605、2010 年 8 月、p.53-56

## 4. アフリカ・サヘル地域の持続可能な水・衛生システムの開発

下水道研究部 部長 堀江 信之  
 下水処理研究室 室長 小越 眞佐司  
 研究官 對馬 育夫  
 研究官 西村 峻介

### 1. はじめに

当研究は、2015年までに安全な飲料水と基礎的な衛生施設を利用できない人々の割合を半減するとしたミレニアム開発目標達成に資することを目的として、アフリカ・サヘル地域のブルキナファソ(以下、「ブ国」という。)を対象国とし、水と衛生の新しいシステムの開発と実証をブ国の国際水環境学院(2iE: International Institute for Water and Environmental Engineering) と共同して実施するプロジェクトの一環である。当研究室では、新たに開発する要素技術(低価格コンポストトイレ、雑排水処理/再生システム)を適用する都市モデル(図1)、農村モデル(図2)において財政・法制度的要因の整理及び流通系形成に必要な要因整理を担当する。

平成22年度は、国内調査として、中長期的な調査方針を他のプロジェクトメンバーらと調整し策定するとともに、ブ国における現行の水と衛生に関する法令・制度に関する資料調査を行った。現地調査では、ブ国の都市部において、水・衛生に関わる担当行政部局およびし尿収集事業者への聞き取り調査を行った。また、農村部において、マイクロクレジットの活用法の実態調査をするとともにコンポストトイレに対する意識に関して聞き取り調査を実施した。

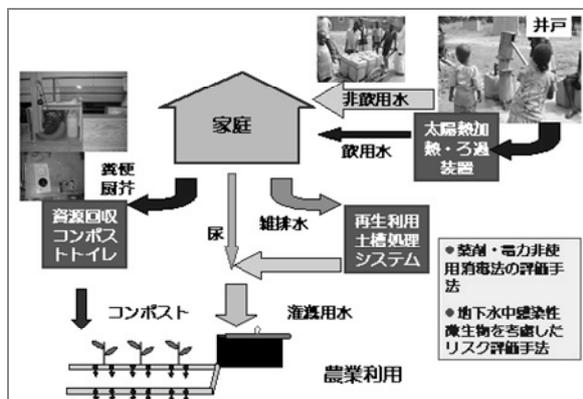


図1 農村モデルのイメージ

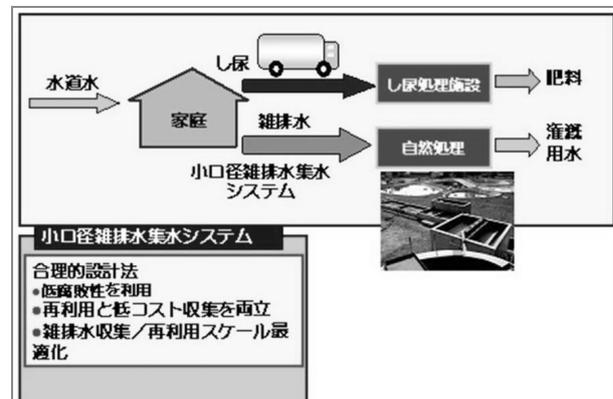


図2 都市モデルのイメージ

### 2. ブルキナファソの概要と現状

ブ国は、西アフリカの内陸に位置し、国土面積は27万Km<sup>2</sup>(日本の73%)、人口は約1.5千万人(日本の12%)である(図3)。1896年にフランスの保護領に、1960年にフランスからオートボルタ共和国として独立し、1984年に国名をブルキナファソに変更した。公用語はフランス語で、その他モシ語を中心に63の部族語がある。農業国であり主な輸出作物は綿花、粟、トウモロコシ、タロイモ、シアバターで、国内消費用としてミレット・ソルガム等を天水に頼って生産している。GDPは87億ドル(127位)で一人当たりGDPは600ドル(157位)である(2010)<sup>1)</sup>。比較的良好な経済成長にもかかわらず(実質GDP成長率:5.0%)、広範な貧困状況が続いており、人間開発指数は0.370と世界177ヶ国中176位に位置する最貧国のひとつとなっている(2007年)。

国民の 46.5%が貧困ライン以下の生活水準にあり、特に人口の 80%が生活する農村部の貧困率は 52.3%と高くなっている(2003年)。これは、農村部の低い成人識字率(23.6%)、高い乳幼児死亡率(10%)、安全な水へのアクセスの困難さ(61%) に顕著に現れている。50%が降水量 600mm~900mm/年のスーダン・サヘル気候帯に位置し、降雨は 6月~9月の雨期に集中している。上下水道は水資源総局と ONEA(国家上下水道公社) が管理しており、首都ワガドゥグ市と第二の都市ボボデュラツ市の一部では下水道が整備されている。ブ国政府は 2006年に飲料水・衛生供給国家計画(PN-AEPA)を策定し、2015年までに安全な水と衛生にアクセスできる人口割合を向上させるための取り組みを実施しているが、特に農村部では対応が遅れている状況である。



図3 ブルキナファソの位置

### 3. 調査内容

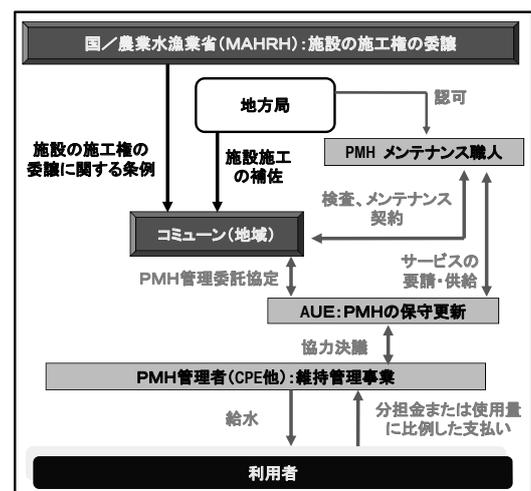
#### 3.1 農業・水利・水資源省への聞き取り調査

財政・法制度的要因の整理にあたって、ブ国における水と衛生に関する現状を把握するため、農業・水利・水資源省(以下、「農業省という。’)水資源局へ聞き取り調査を行った。

安全な水資源の確保にあたっては、ブ国政府、また諸外国ドナーの支援によって、村落給水を重点課題とし、給水施設等の建設が進められており、ポンプが設置されている深井戸の本数は、1996年の 16,637本から 2005年の 29,532本<sup>1)</sup>となっており 10年間で約 44%増加している。しかしながら、依然として安全な水へのアクセス率は低い水準であり、加えてポンプの故障やアフターサービスの収益性のなさ、コミュニティの組織化不足、税制の魅力のなさなどによって、放棄されてしまう給水施設も少なくない(全体の稼働率は 77%程度)。また、給水施設の建設や管理にあたっては、人的・経済的事情により行政の監督・検査体制が確立されておらず、施工管理や品質確保も十分とは言えない状況である。

このような状況を打破するため、中央政府は、地方分権を推進しており、2009年には、給水施設の所有者を国から都市・村落単位であるコミューンに委譲しており、現在は、中央政府の出先機関が技術的支援を行う体制に移行中である。また、権限委譲だけでなく、給水施設をいかに有効に持続的に維持管理するかという点にも配慮し、PN-AEPAの中で住民参加型の給水施設の維持管理制度改革を進めているところである。その改革援助として、我が国の JICA が中央政府、地方局、コミューン等と連携して「ブ国中央プラトー地方給水施設管理・衛生改善プロジェクト(2009年 8月~2013年 3月)」を実施している。

これまでの給水施設の管理は、チェック・トラッキング機構のない施設利用者コミュニティにより管理されており、水使用料金の設定や徴収、故障時の対応は給水施設単位で行われていた。それに対して、本プロジェクトでは、安定した料金徴収や修理・修繕への迅速な対応等を可能にするため、行政、企業、地域、利用者が責任を共有する体制を確立するも



PMH: 人力ポンプ  
AUE: 水利用者連合(CPEの連合体)  
CPE: 各施設ごとに設置される共同水栓委員会

図4 維持管理制度改革による新たな体制イメージ<sup>3)</sup>一部編集

のである(図4)。これにより、給水施設の放棄率の低下や衛生行動の改善、雇用の創出、モニタリングや管理体制等の評価など、各者各様のメリットが見込まれ、「持続可能な」維持管理体制の強化につながるものと期待されている。

一方で、農村部の下排水処理に関する施策は進められておらず、計画も策定されていないのが現状であり、今後は、**reuse**、**reduce**、**recycle** を考慮した計画を打ち出していく必要があるとのことであった。

### 3.2 都市におけるし尿処理の現状

ONEA(国家上下水道公社) はブ国内 45 県中 43 県の上下水道を管理している。下水処理場はワガドゥグ市内に一か所(計画水量 5,400m<sup>3</sup>/日、11,600m<sup>3</sup>/日に拡大予定) あるのみで、市内の下水道普及率は1%以下だが、今後、都市中心部の下水道普及地域を拡大していく計画がある。また、下水道未普及地区に住む人々は **Latrine** (地下浸透式トイレもしくは **VIP** トイレ\*) を使用している。し尿の汲み取りは業者が行っており、1 世帯(5-6 人程度) の場合、年一回程度、学校の場合、月一回程度の頻度で回収している。回収に要する費用は 5m<sup>3</sup> 当たり 20,000 CFA(約 4,000 円) である。**Latrine** から業者を介して回収されたし尿は市内にある下水処理場では処理することが困難なため、未処理のまま直接農家に売買されている(無料で配布することもある)。また、最近では仲介業者を介すこともある。雨季の場合は、し尿が乾燥せず農業利用ができないため、くぼ地等に不法投棄されており、地下水や農作物への影響、感染症の危険性などが懸念される。この不法投棄されている実態を受け、現在、ワガドゥグ市内に汲み取りし尿の投棄場を建設中であるが、これまで無償で廃棄していたし尿を有償で処分しなければならず、加えて投棄場までの輸送費が上乗せされるため、汲み取り業者の賛同を得るには難しいと思われる。したがって、回収されたし尿のコンポスト化および製品化されたコンポスト流通をベースとした新たな都市システムの構築を展開していく必要がある。

\* **VIP** トイレ…**Ventilated Improved Pit**: 改良型換気トイレ

### 3.3 農村における聞き取り調査

本研究プロジェクトで農村地区用に開発している低価格コンポストトイレは、低コスト(約 1 万円) で、全て現地調達可能な材料で作られており、また特別な設備を必要とせず簡単に作成することが可能である(図5)。糞便はコンポスト化しコンポストとして、尿は再生利用土壌処理システムで処理された雑排水と混合し灌漑用水として農業に再利用することが可能である。この低価格コンポストトイレの導入および普及に関して、技術開発(処理性、安全性) だけではなく、コストや住民の「意識」、文化背景が重要となる。本調査ではマイクロクレジット制度がコンポストトイレ導入に利用できるかを検討するための実態調査および住民の意識、現地での文化背景の聞き取り調査を中心に調査を行った。

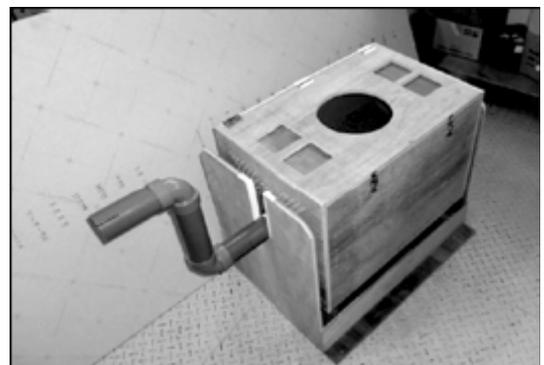


図5 低価格コンポストトイレ

#### 3.3.1 村内で行われているマイクロクレジット事業

クブリ郡ウェドビラ村においてマイクロクレジットに関するヒアリング調査を行った。マイクロクレジットとは、バングラディッシュ等で盛んに行われている低所得者向けの融資で、比較的 low金利であること、個人ではなくグループに対して貸し付けること、定期的に返済を行うこと等の特色がある。この村では、女性グループに対して年率 10%のマイクロクレジットの貸し付け(約 50 万円) が行われている。この村でのマイクロクレジット事業は 5 部門あり、i) タマネギの転売、ii) スンバラ(発酵調味料) の製造・販売、iii) 米・とうもろこしの転売、iv) ミレットの栽培・販売、v) ドロ(発酵酒。原料はミレット等の雑穀) で構成されている。また女性グループはこの他に自給用の野菜を住居の近くで栽培している。この村でマイクロクレジット

事業が行われるようになって3年が経過するが、その間に返済が滞ることはなく、また返済分を差し引いても女性グループに十分な利益が出ている。また数年前には男性グループもマイクロクレジットの融資を受けていたが、現在は経済的に独立しているとのことであった。各グループで得た利益の一部は共同基金として集められ、灌漑用ポンプの購入や補修等に使用される。また一部は各家庭に分配される(家庭内においても男性と女性の家計は独立している)。今後、コンポストトイレの普及に関し、マイクロクレジットが利用できるか詳細に検討する必要がある。

### 3.3.2 コンポストトイレに対する住民の意識

この村では家畜の排せつ物を利用し堆肥化を行っているが、人間の排せつ物は利用していない。人間の排せつ物を利用していない理由として、現行のVIPトイレではし尿の汲み取りができないことを挙げていた。また、人間の排せつ物をコンポストに利用することに対して、悪臭がするのではと抵抗感を示していたが、コンポスト化する過程でほとんど無臭になることを説明すると、効果があるなら使用したいと意欲を示していた。

### 3.3.3 村における意思決定プロセス

ブ国の村では、村長の他に **tan-soba** と呼ばれる「土地の主」や **délégué** と呼ばれる政府から派遣される行政官の存在が重要となっており、近代的な技術や制度を伝統的な文化や決め事にうまく調和させていくためには、工学的なアプローチと同等以上に文化・社会的なアプローチが必要である。例えば、土地の使用に関して、村内の土地は法律的には国有となっているが、村内の土地の利用全てに関することは、村内の伝統的祭事や呪術的儀式を執り行う **tan-soba** の許可・調整によって決められる。したがって、プロジェクトで土地を使用する場合には **tan-soba** の許可を得ることが重要である。また **délégué** は、郡庁との連絡、村内の調整等の行政的活動を行っており、村内の状況については村長よりも詳しく把握している。プロジェクトに関する協議には村長だけではなく、**délégué** にも参加してもらい、必要に応じて村長や村民の調整を行ってもらうことができれば、効率的かつ調和的にプロジェクトを推進させることが可能である。

## 4 まとめ

平成22年度は、国内でブ国の財政・法制度的要因の整理及び流通系形成に必要な要因整理に向けた文献収集を行うとともに、現地では農業省やし尿運搬業者、農村部での聞き取り調査を行った。

ブ国政府は、給水施設の建設を進めるとともに、給水施設の管理体制強化に向けて、JICAの援助を受けながら、国、地方、企業、利用者を含めた給水施設の維持管理制度改革を推進している。

都市部では、し尿汲み取り業者が、収集したし尿を農地に投棄している現状を受けて、新たな処分場を建設しているが、輸送費や処分費等の経済的な理由により、投棄の状況が改善されるかは疑問である。そのため、し尿をコンポスト化し、有価物として流通システムに乗せていくことで衛生面、経済面ともに有意性のある都市モデルを構築することが必要である。

農村モデルの構築にあたっては、既存のマイクロクレジットの活用を検討するなど、近代的な制度を農村部に持ち込むのではなく、伝統的な文化や取決めを尊重した効率的、調和的な制度設計が重要である。

### 【参考文献】

- 1) International Monetary Fund (IMF): World Economic Outlook Database 2010
- 2) 農業・水利・水産資源省(MAHRH): Inventaire National 2005 des Ouvrages Hydrauliques
- 3) JICA ブルキナファソ事務所提供:プロジェクト概要説明資料