

日本近海における海洋環境の保全に関する研究

国土交通省国土技術政策総合研究所下水道研究部下水道研究室

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

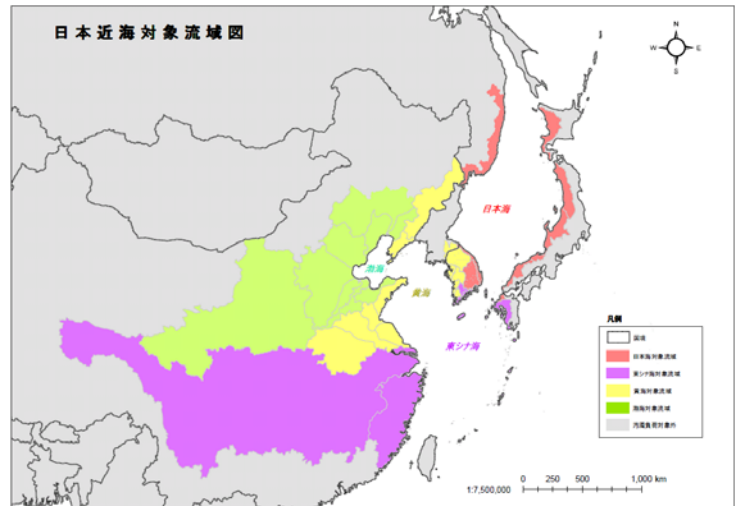


図-1 研究フロー

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¹⁾、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²⁾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成果は

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³⁾や第6次水質総量規制⁴⁾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³⁾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⁵⁾・韓国統計年鑑⁶⁾・公共用水域水質調査結果⁷⁾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⁸⁾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。

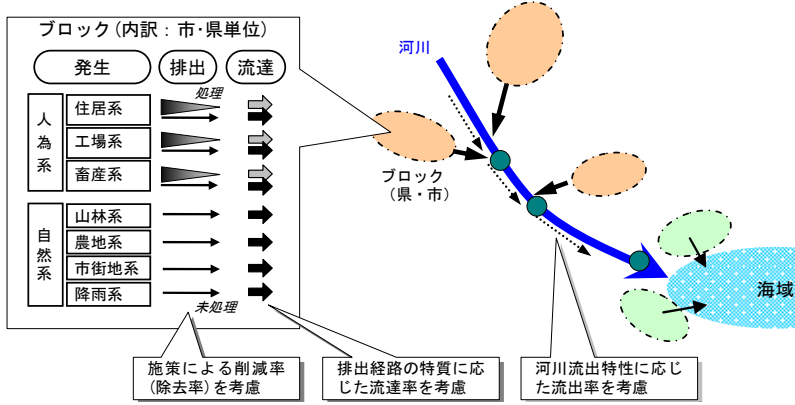


図-3 陸域からの汚濁負荷モデルの計算イメージ

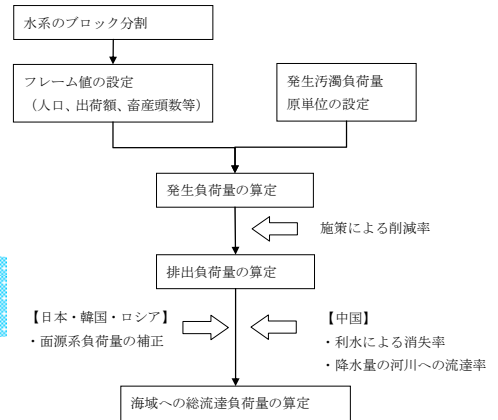


図-4 陸域からの汚濁負荷モデル計算フロー

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⁵⁾⁶⁾⁷⁾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⁸⁾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）

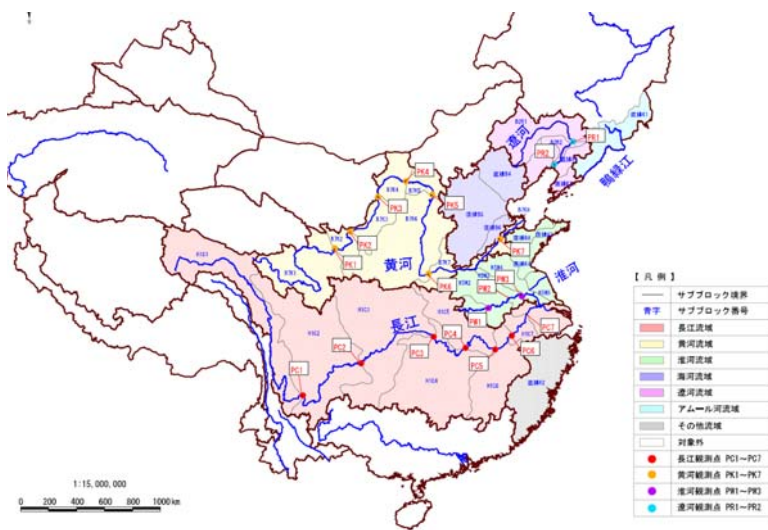


図-5 中国における流域ブロック分割

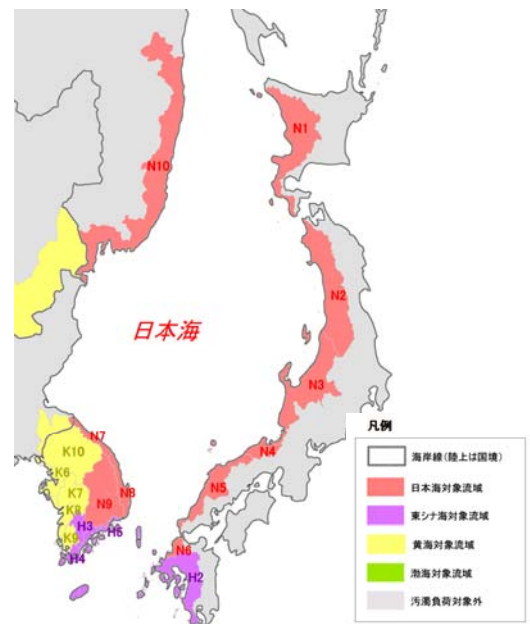


図-6 日本・韓国・ロシアにおける流域ブロック分割

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)」⁹⁾の値を、日本では「流域別下水道整備総合計画指針と解説」⁸⁾の値を、韓国では「水系汚染総量管理技術指針」¹⁰⁾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%	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・流総指針】 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)+③×(1-⑧)	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)+③×(1-⑧)	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			
	工場排水水質(mg/L)	COD	T-N	T-P	出荷額当たり負荷原単位(g/日/百万円)	COD	T-N	T-P	工場排水水質(mg/L)	COD	T-N	T-P
算定方法	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			
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】 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				【供用開始区域外】 工業出荷額×工場排水水質原単位A				清流地域の場合(2000m3/日未満) 50 30.0 4.0 A地域の場合(2000m3/日未満) 90 60.0 8.0 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。			
	【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×(1-水質基準達成率)				【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)							
	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。				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							
	【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。				【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】 下水道の除善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。								

表-2 工場排水負荷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					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。				【出典:流域指針】 「流域指針」では農林省畜産局資料等をもとに設定している。				【出典:水系汚染総量管理指針(国立環境研究室)】 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%					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)				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				【出典:流域指針】 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:流域指針】 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(国立環境研究室)】 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)

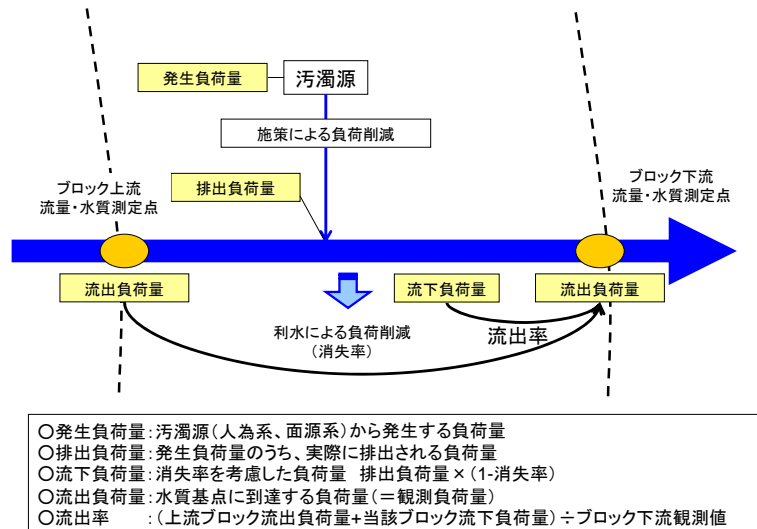


図-7 負荷量計算の考え方

【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

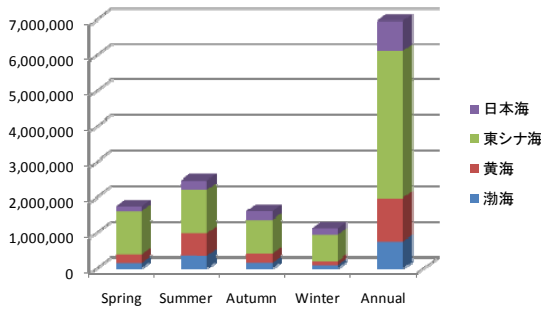
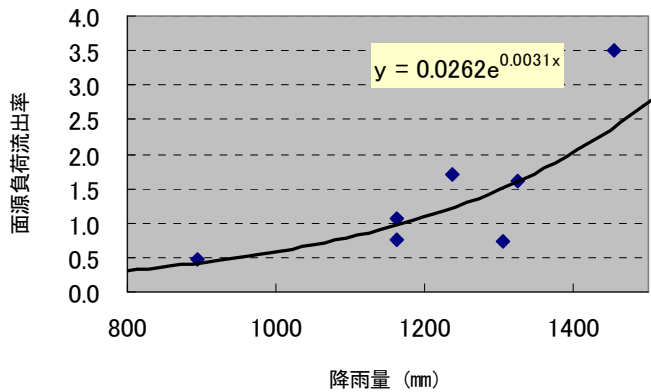


図-9 四季別流達負荷量の考え方



{ $y = 0.0262e^{0.0031x}$ (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

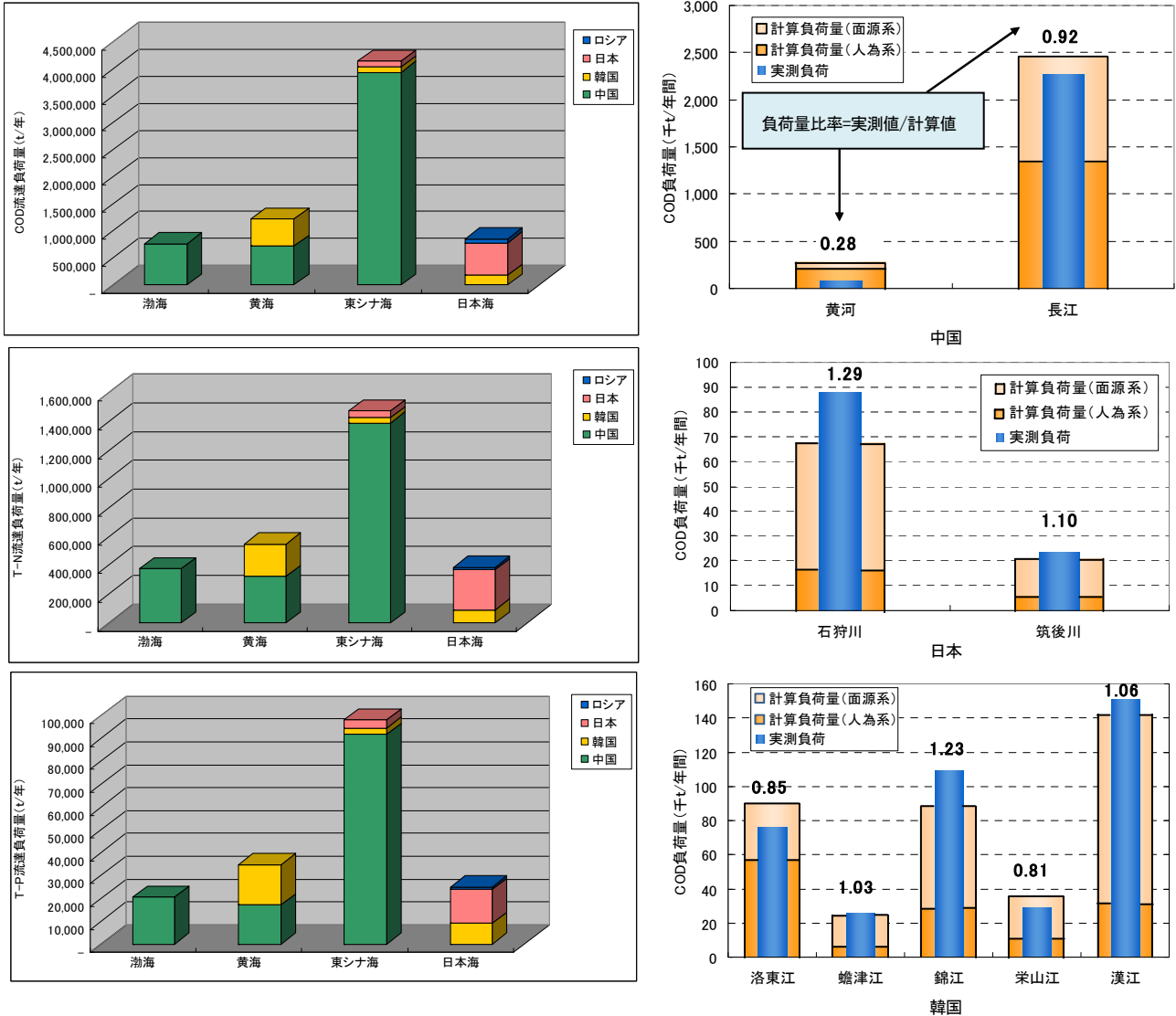
3.2 陸域からの汚濁負荷モデルを用いた汚濁負荷量算出結果

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)¹¹⁾ の値や、(社) 日本経済研究センターが予測している GDP

の値¹²⁾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。

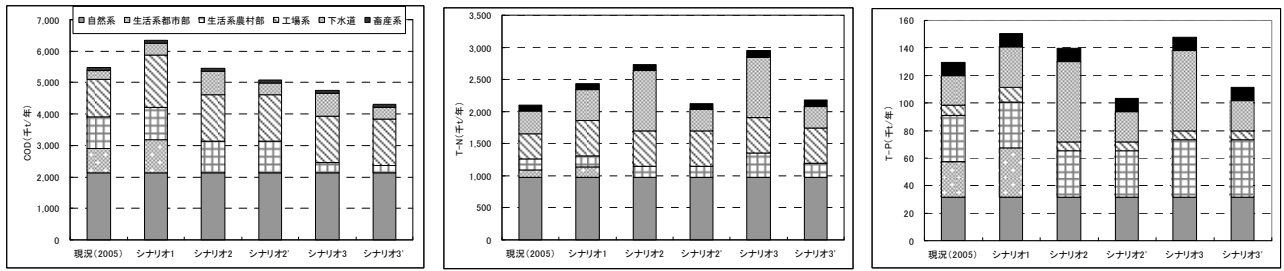


図-13 中国における現況及び各シナリオ時の汚濁負荷量 (COD、T-N、T-P)

(棒グラフ：下より自然系～畜産系)

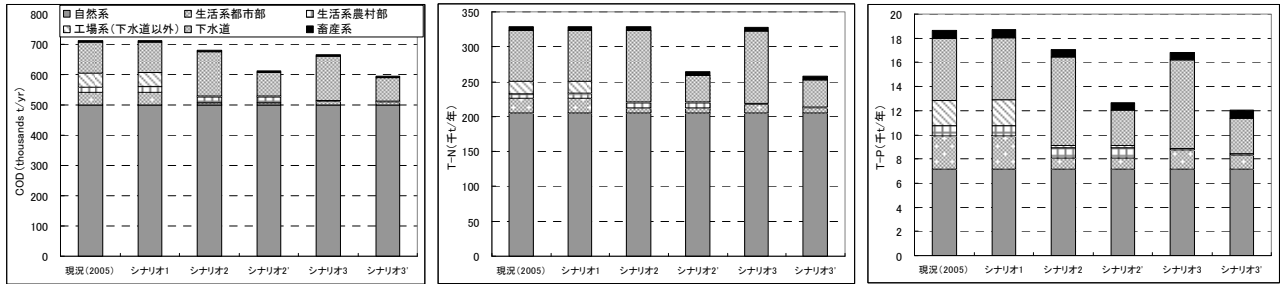


図-14 日本における現況及び各シナリオ時の汚濁負荷量 (COD、T-N、T-P)

(棒グラフ：下より自然系～畜産系)

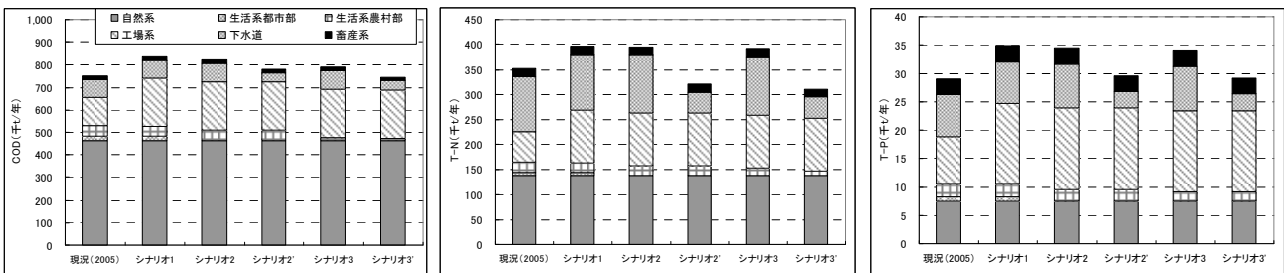


図-15 韓国における現況及び各シナリオ時の汚濁負荷量 (COD、T-N、T-P)

(棒グラフ：下より自然系～畜産系)

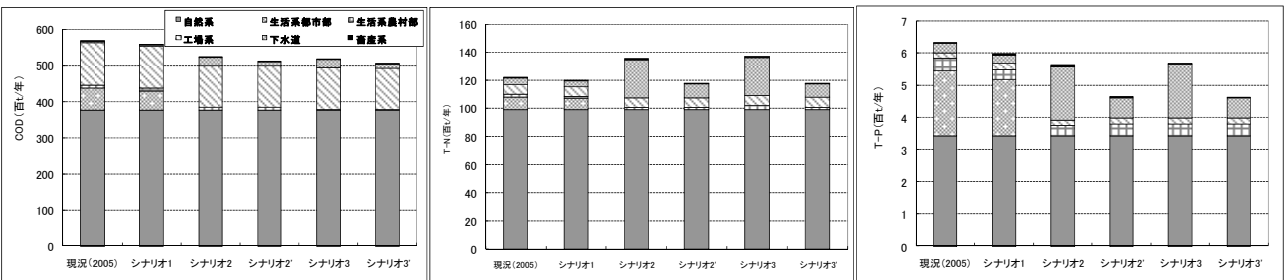


図-16 ロシアにおける現況及び各シナリオ時の汚濁負荷量 (COD、T-N、T-P)

(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。

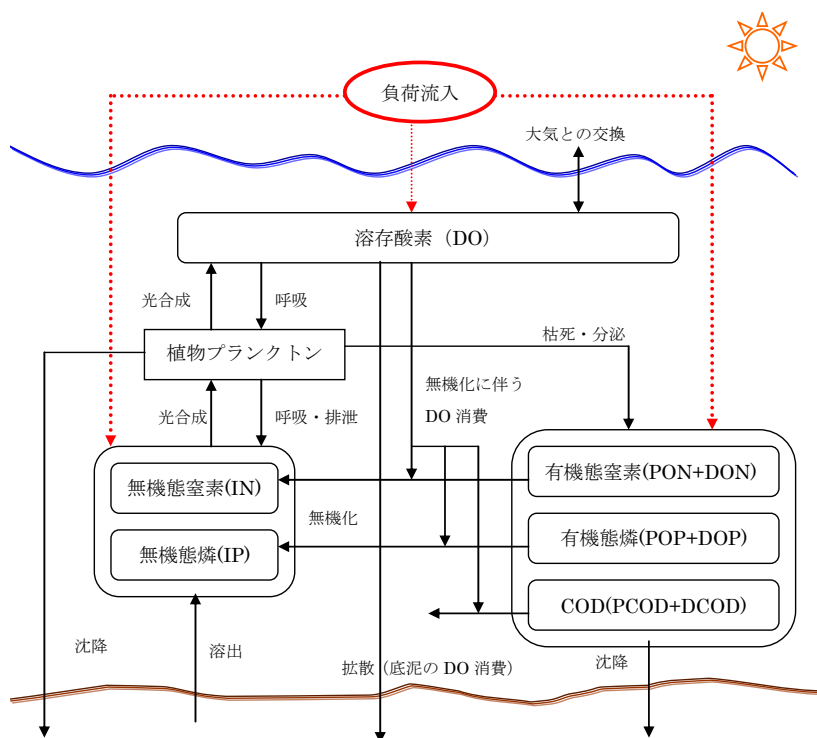


図-17 水質モデル(低次生態系モデル)の概念図

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)¹³⁾及び Ezer and Mellor(2004)¹⁴⁾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 σ 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）¹⁵⁾が提供する海洋同化データを境界条件として利用した。

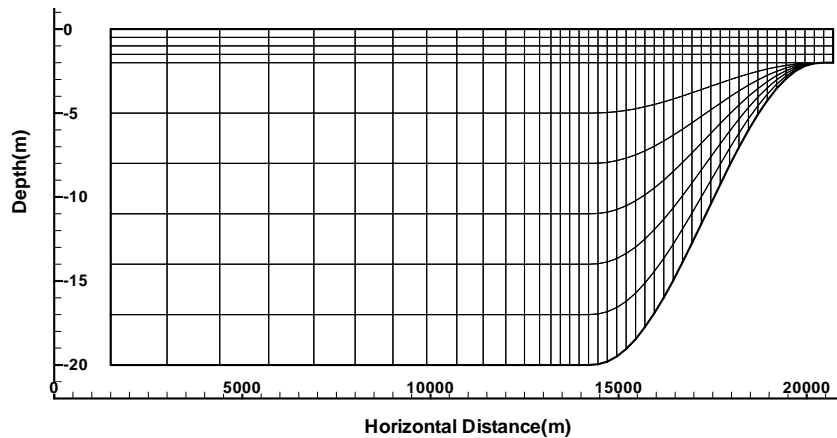


図-18 一般鉛直座標モデルの鉛直格子分割の例

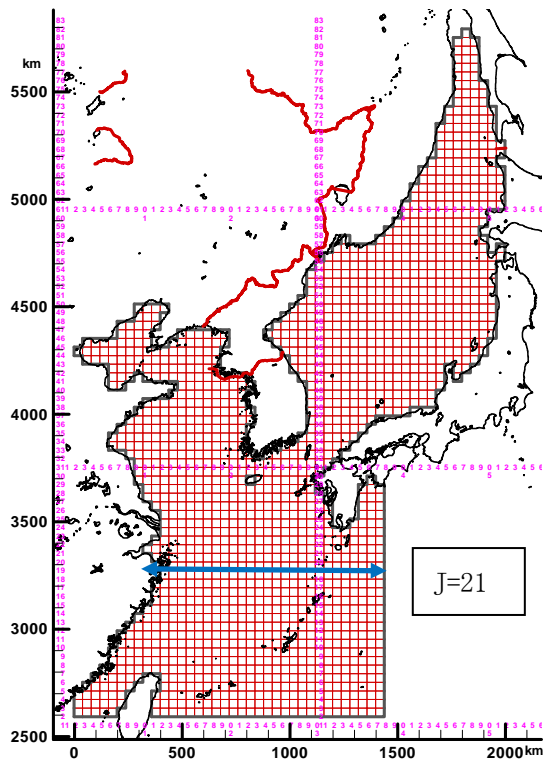


図-19 流動モデルで採用した水平格子分割

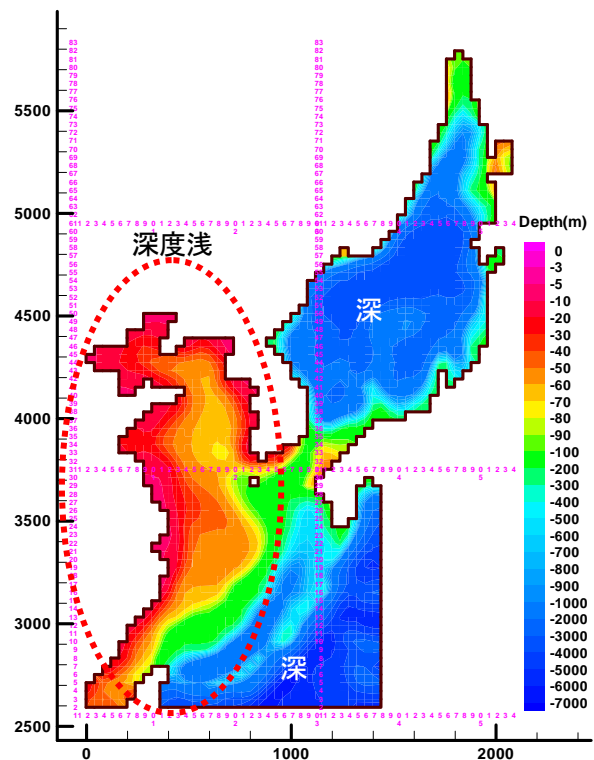


図-20 計算に用いた水深データ

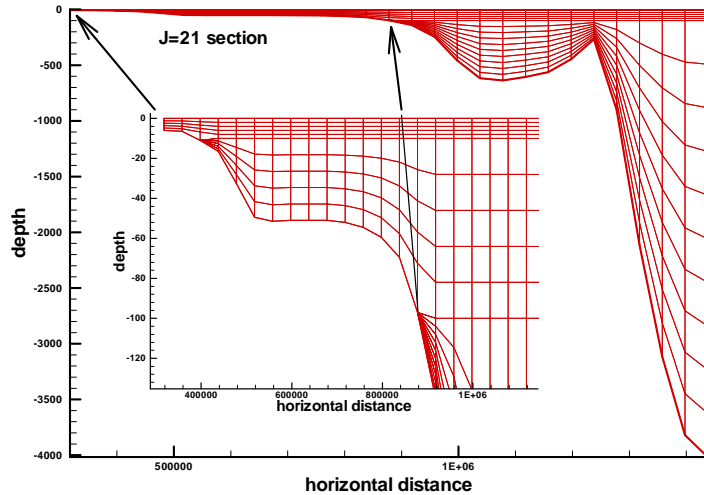


図-21 流動モデルで採用した鉛直方向格子分割（図-19 中 J21 の位置を示している）

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¹⁶⁾）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）

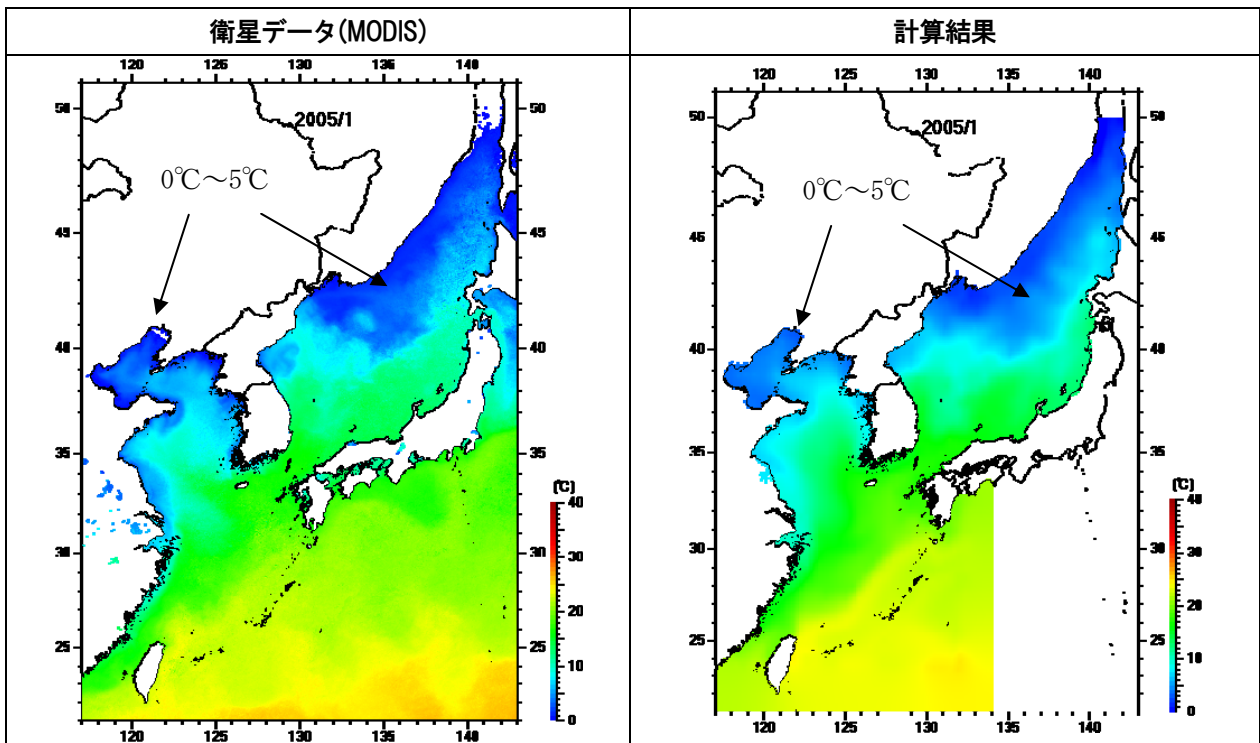


図-22 衛星データとモデルによる計算値の比較例（水温）（2005 年 1 月）

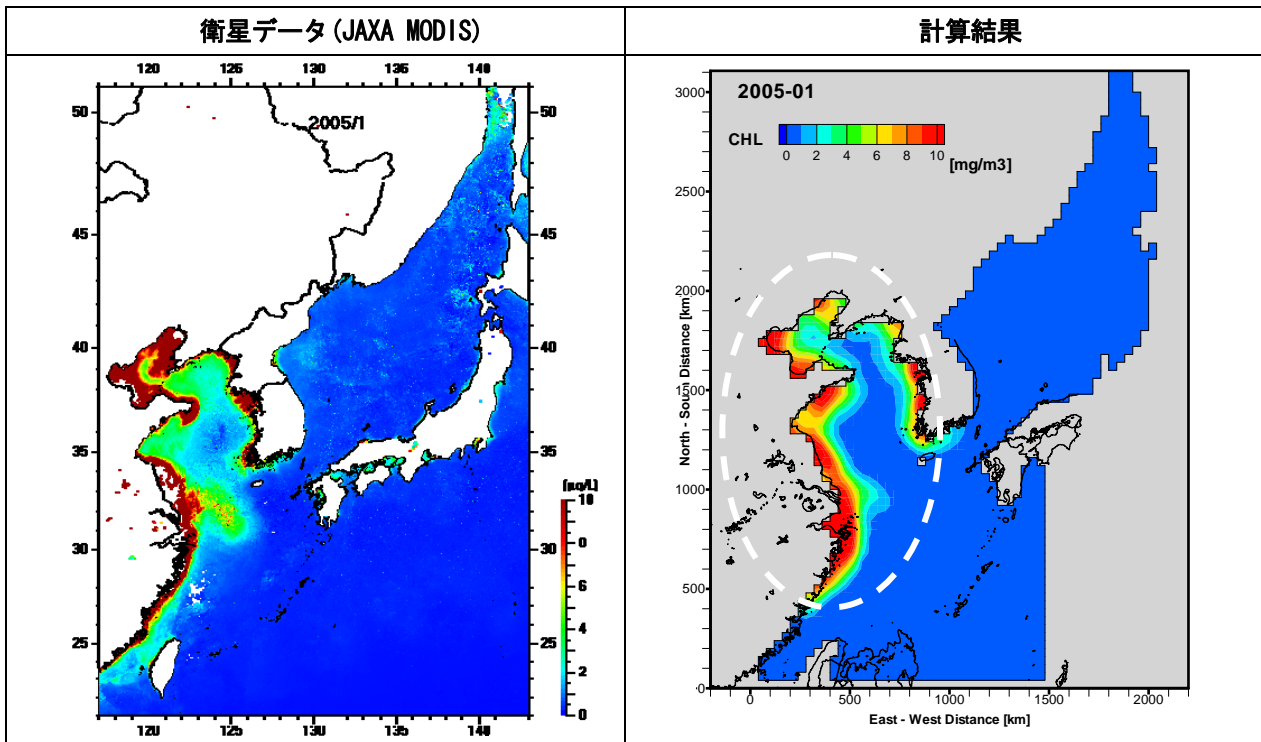


図-23 衛星データとモデルによる計算値の比較例（クロロフィル-a）（2005年1月）

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。

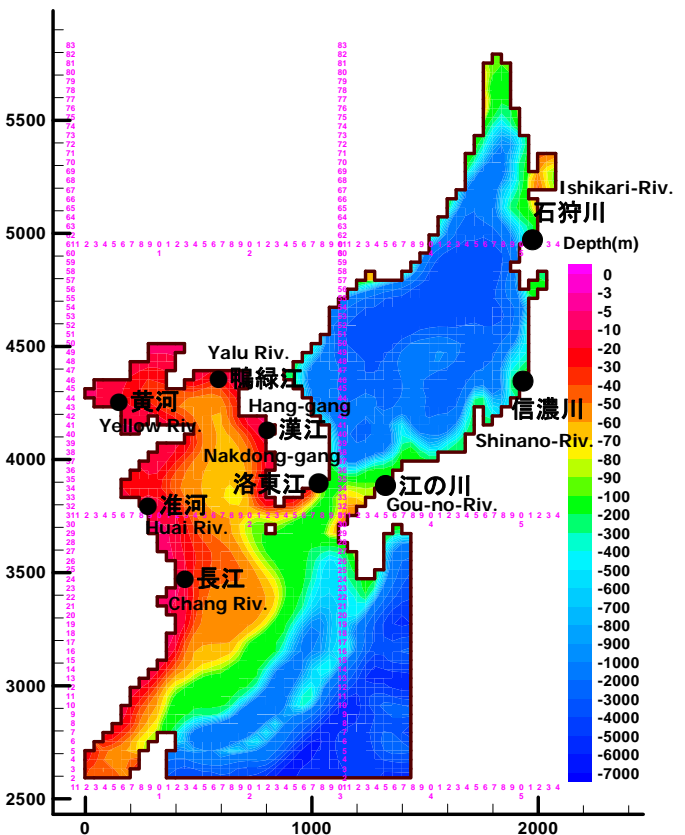


図-24 シナリオ評価のために濃度比較を行った場所

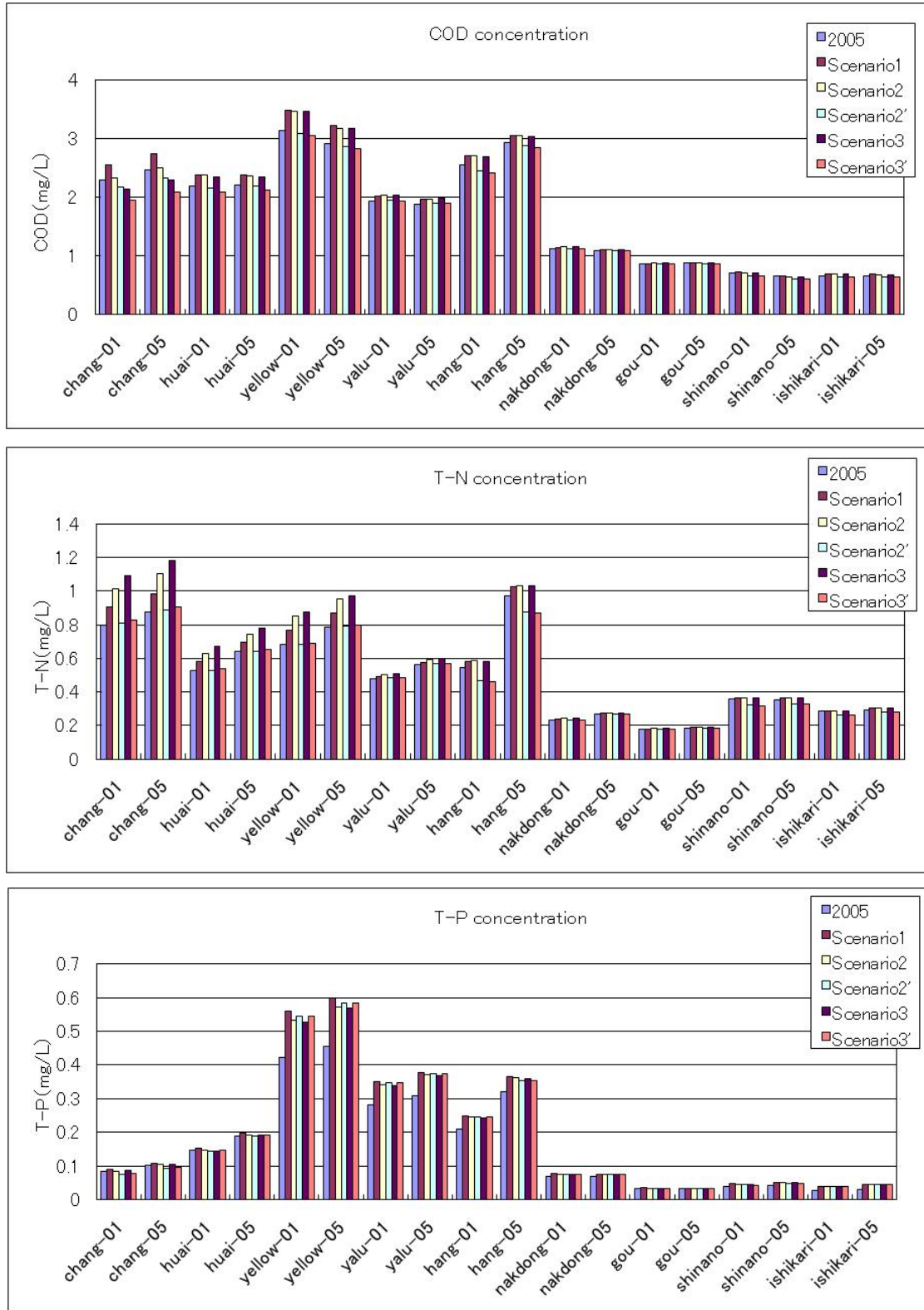


図-25 2030年の各シナリオ計算における沿岸部の濃度変化（年間平均）（COD、T-N、T-P）

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。

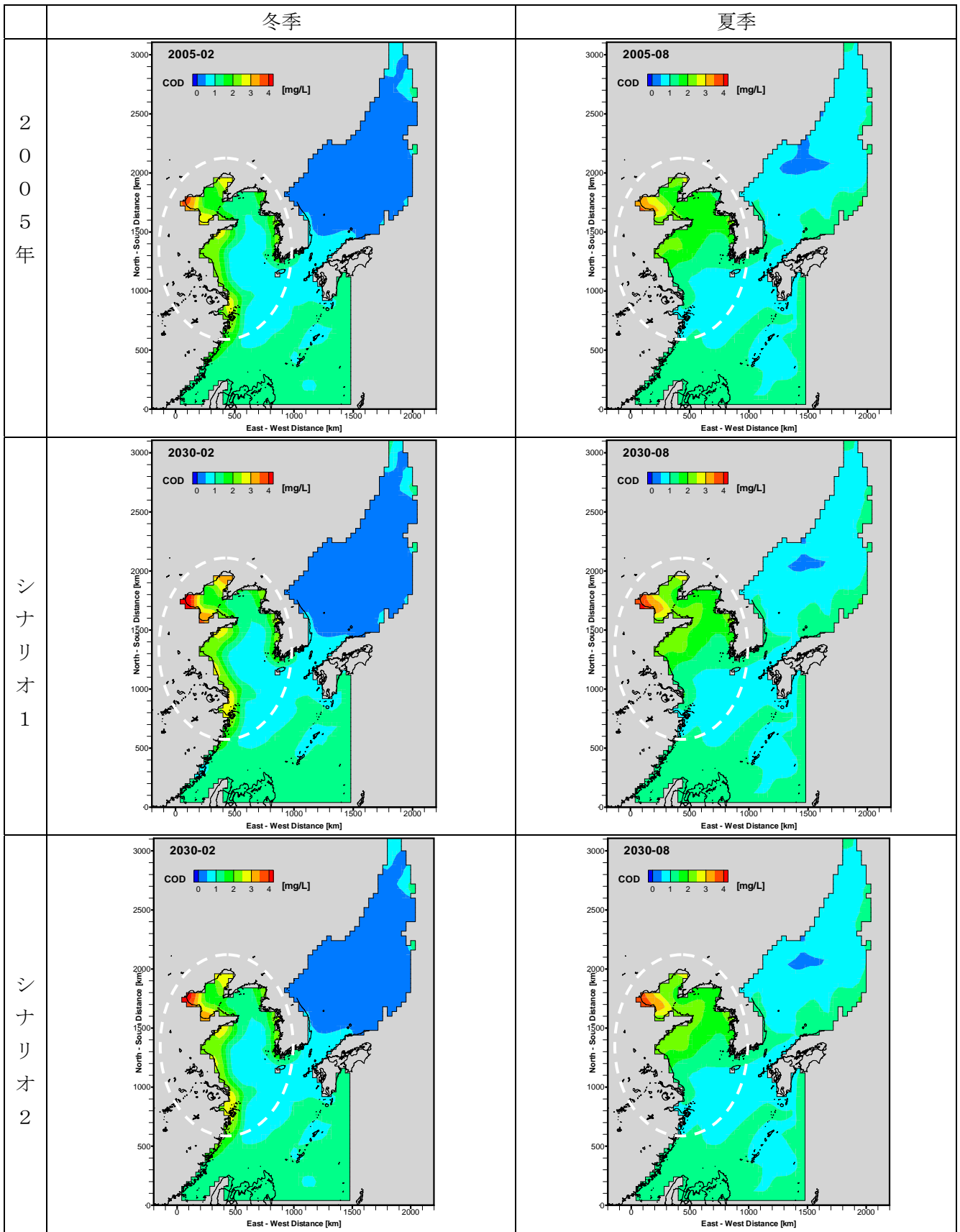


図-26 水質濃度分布（第1層）（2005年、2030年のシナリオ1、シナリオ2、COD）

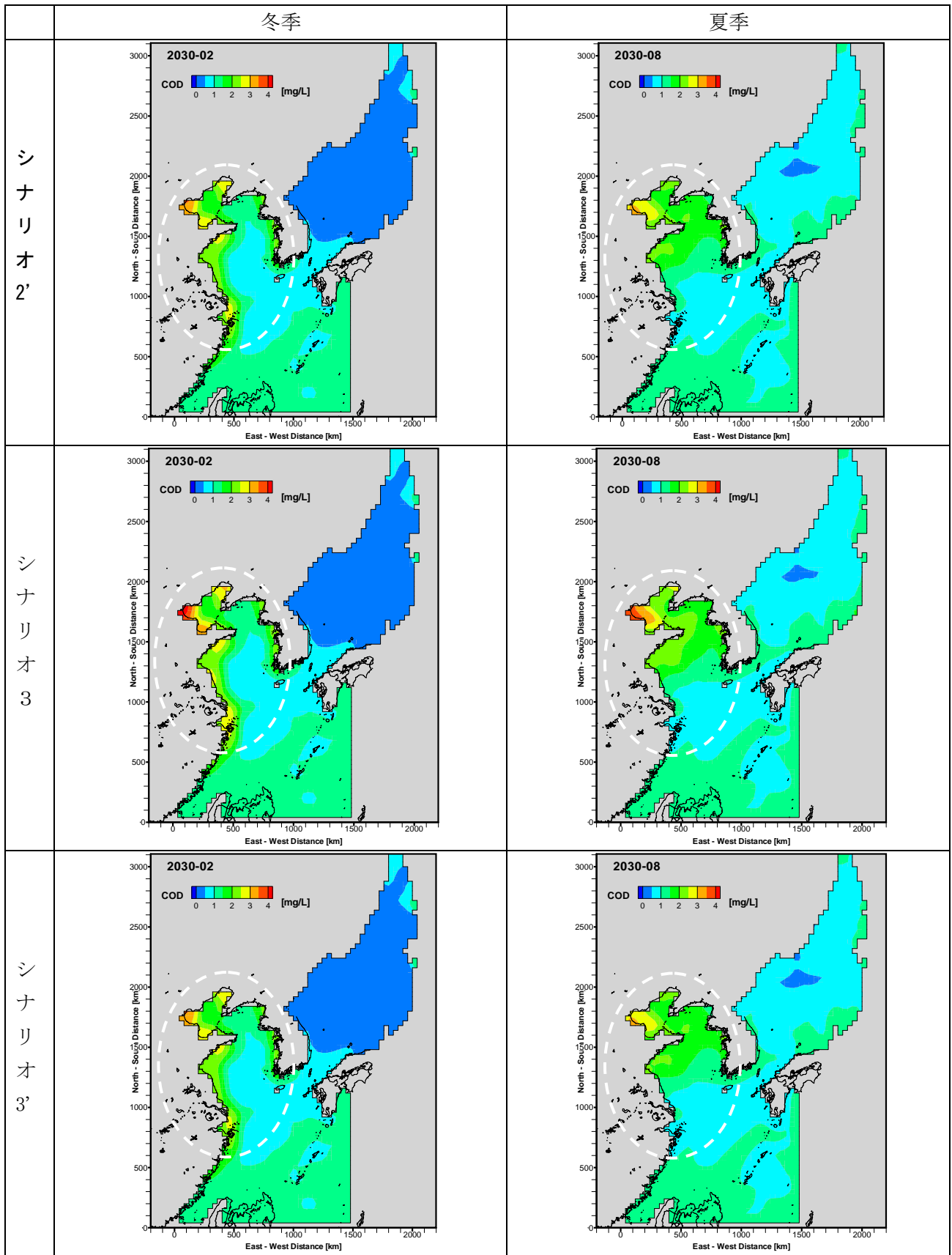


図-27 水質濃度分布（第1層）（2030年のシナリオ2'、シナリオ3、シナリオ3'、COD）

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

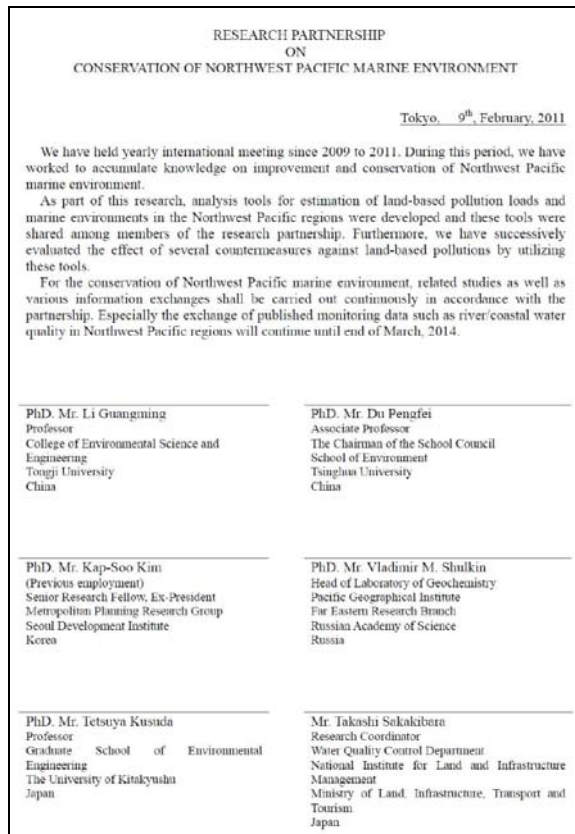


図-32 研究パートナーシップに関する合意文書の写し（署名省略）

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⁸⁾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