

「有明海流域における水循環－物質輸送モデルの構築に関する研究」報告書概要

九州大学大学院工学研究院 准教授 矢野真一郎

1. はじめに

近年の有明海は、流況の変化、赤潮の多発、貧酸素水塊の発生など、海域環境の悪化が生じ、ノリ養殖やアサリ等の二枚貝類の漁獲高が著しく減少している。したがって、有明海の再生が緊急の課題となっている。平成 14 年に「有明海及び八代海を再生するための特別措置法」が施行され、有明海再生に向けて、各研究機関、国や関係県において戦略的な研究活動が進められている。

一方、2007 年に公開された IPCC（気候変動に関する国際パネル）の第 4 次報告書にあるように、地球温暖化の進行に伴う気候変動は我が国においても降雨パターンを変化させ、自然環境の変化や災害の増大をもたらすと予想されている。したがって、有明海をはじめとして我が国の三大湾（東京湾・伊勢湾・大阪湾）などの重要な内湾においては、流入河川とその流域を総合的にとらえた適応策が求められている。

有明海流域における防災や環境保全について将来的な施策を計画する際に、流域圏の環境変化や災害リスクを包括的にとらえるためのツールが必要と考えられている。

本研究では、有明海流域（図-1）を対象に総合的な水物質循環モデルを構築し、陸域における地表水

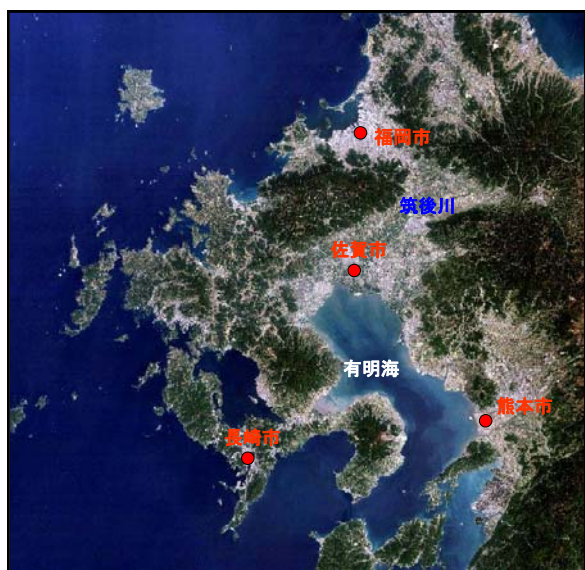


図-1 研究対象流域

および地下水等の水物質循環の変遷を明らかにするとともに、水系一貫した有明海再生に必要な水質改善施策や地球温暖化への適応策を提案することを最終的な目的としている。今回は、その端緒として筑後川の流域水物質循環モデルの構築を試みた。

2. 有明海流域水物質循環モデルの概要

有明海の水物質循環システムを予測するためには、流域特性や地域に応じた多様な施策の効果を予測・評価する必要がある。有明海流域水物質循環モデルとして、表-1 に示す流量、水質浄化、物質流下、既定計画の対策効果が評価できる国土交通省土木研究所と株式会社建設技術研究所が共同開発した「分布型水物質循環モデル」を採用した。

なお、今回の有明海流域モデルにおいて、有明海への流入負荷が大きいと考えられる直轄河川 8 水系については、流入負荷検証・予測精度向上のために「1 次元不定流・移流拡散モデル」を採用する。有明海流域水物質循環モデルの概要を表-2 に示す。

(1) 分布型水物質循環モデルの概要

水物質循環モデル（以下、概念モデル）は、流域

表-1 有明海の再生に向けた対策と検討方法

	対策	モデル化		モデル化の考え方
		全体モデル	河川モデル	
水量	流れのダイナミズム		○	河床変動計算
	維持放流	○	○	
	弾力運用	○	○	
	フラッシュ操作		○	河床変動計算
水質	ダム貯留		○	WEC モデル
	面源負荷対策	○	○	境界条件として設定
既定 計画	排水規制（室菜、リン）	○	○	境界条件として設定
	農業排水（施肥）	○	○	境界条件として設定
	畜産（家畜排泄物）	○	○	境界条件として設定
	養殖漁場（餌料）			海域の対策
	底質直接浄化（堆積ヘドロ）			海域の対策
	河川・湖沼等直接浄化	○	○	流量と削減負荷量の関係
	干潟等沿岸生態系の保全回復			海域の対策

表-2 モデル構築の概要

モデル	有明海流域水物質循環モデル		
	流域	河道	1 級河川下流部
水 循 環 モデル	3 層の流出モデル	水文学的河道追跡 (Kinematic Wave)	水理学的河道追跡 (Dynamic Wave)
物 質 循 環モデル	水質タンクモデル	堆積・掃流モデル	移流拡散モデル

内の全メッシュに鉛直方向に並べられた3層のモデル(表層, 不飽和層, 地下水層モデル)と河道モデルからなる。各層からの流出成分・流出負荷を落水線に沿った河道モデルに入力して, Kinematic Wave法で河道流量を, 堆積・掃流モデルにより流出負荷量を, 逐次計算するモデルである。水物質循環モデル(概念モデル)の概要図を図-3に示す。

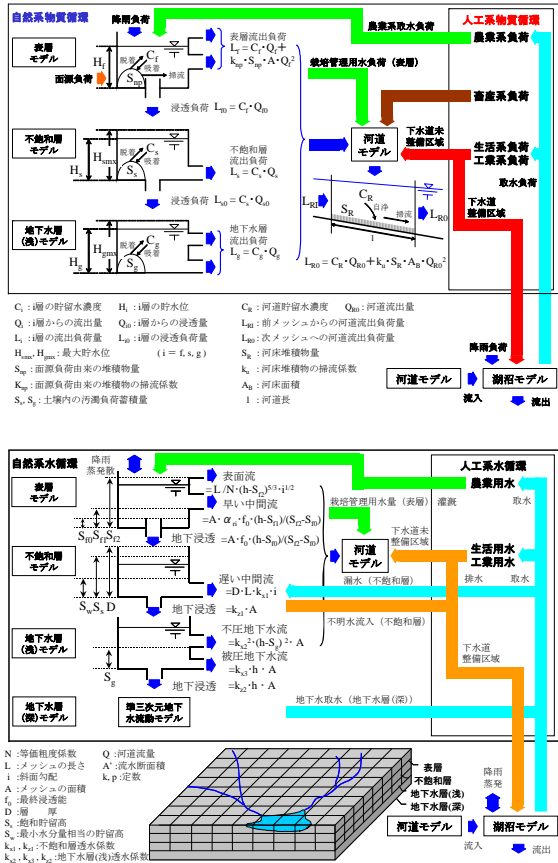


図-3 水物質循環モデル(概念モデル)の概念図

(2) 1次元不定流・移流拡散モデルの概要

1次元不定流・移流拡散モデルは, 河道内で各断面の水位・流速をもとめ, 拡散方程式より各地点の水温および水質濃度を算出するモデルである。分布型水物質循環モデルのうち, 河道縦横断データが完備されている直轄河川の河口部から上流の一部区間において採用した。モデルの基礎式を以下に示す。

【河道内水理モデル】

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q$$

$$\frac{1}{g} \cdot \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\partial \cdot \frac{v^2}{2g} \right) + \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{n^2 v^2}{R^{4/3}} = 0$$

【物質収支の基本式】

$$\frac{d(C \cdot V)}{dt} = I - O - w \cdot C \cdot A + f(C) \cdot V$$

ここで, C : 水質項目, w : 各項目の沈降速度, V : ブ

ロック容量, A : ブロック底水面積, I : 流入負荷量, $f(C)$: 水質内部変化量, O : 流出・取水負荷量である。

【熱収支の基本式】

$$\frac{d(T \cdot V)}{dt} = IT - OT + \frac{A}{\rho \cdot \gamma} (\beta \phi_0 - \phi_R - \phi_S - \phi_K)$$

ここで, IT : 流入熱量, OT : 流出・取水熱量, $\beta \phi_0$: 水面に吸収される輻射熱, ϕ_R : 有効長波放射 $V \phi_S$: 蒸発による熱損失, ϕ_K : 熱伝導による熱の移動, ρ : 水の密度, γ : 水の比熱である。

物質収支式による計算される項目は, COD, BOD, クロロフィル a, 無機態窒素 (IN), 有機態窒素 (ON), 無機態リン (IP), 有機態リン (OP) の7項目である。水質モデルとしては図-4に示す生態系モデルを採用した。

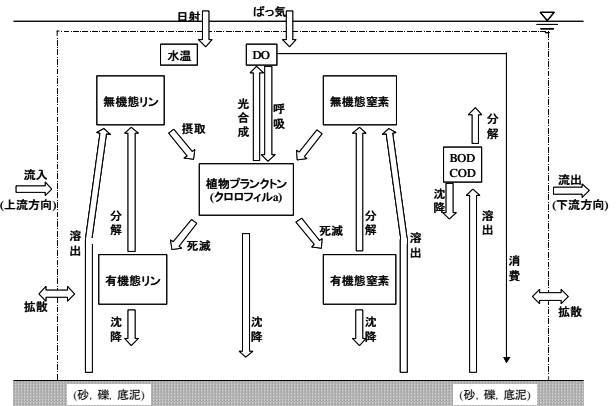


図-4 一次元生態系モデル

3. 物理モデルによる流入河川別モデル作成

本研究では, 有明海流域の8つの直轄河川のうち筑後川のみを対象に分布型水物質循環モデル(流域)と1次元不定流・移流拡散モデル(直轄河川河口部~上流域の一部区間)の構築を行った。流域の物質循環モデルからの計算結果を境界条件として, 筑後大堰の湛水区間および緩勾配河川について1次元不定流・移流拡散モデルを解いている。筑後大堰は河口から23.0km上流地点にあるので, 感潮河川区間が長い。感潮河川区間では塩分濃度が変化し水温と塩分による密度流の計算ができるモデルが必要となる。今回は筑後大堰上流の流域でモデル結合を行い, モデルの検証は約25.0km地点の瀬ノ下地点における流量・水質とした。感潮河川区間および海域を含めたモデル構築は, 今後の課題である。

(1) 水循環モデルの構築

筑後川流域水物質循環モデルで作成された標高図, 流域分割図を図-5, 6に示す。有明海流域水物質循環モデルより農業用水の還元率における精度向上を行った。筑後川流域内をダム, 主要支川を考慮して, 50流域に分割し, 水循環モデルを作成した。

(2) 物質循環モデルの構築

流域内の物質循環過程をモデル化するためには面源負荷の物質循環、点源負荷の物質循環を考える必要がある。面源負荷としては山林、畑、水田、市街地などの流域の土地利用状況による自然系負荷を整理した。点源負荷としては生活系・工業系負荷、下水処理場からの流出負荷、畜産系負荷の整理が必要である。流域の汚濁発生負荷原単位は「有明海水域における下水道整備総合計画に関する基本方針作成調査、平成17年3月」を参照した。それぞれの定量化方法を以下に示す。流域の人口分布および下水道整備状況による生活系汚濁負荷源の分布状況および市町村産業発達状況による汚濁負荷源分布状況の表現ができた。下水道処理場からの負荷および畜産系からの負荷については市町村からのデータ回収の途中であり、今後の課題である。

【生活系負荷量の定量化方法】

メッシュの人工系汚濁排出負荷量 = メッシュの人口 × (1 - 下水道普及率) × 原単位 + メッシュの人口 × 下水道普及率 × (1 - 水洗化率) × 原単位 (g/日)

【工業系負荷量の定量化方法】

メッシュの工業系汚濁排出負荷量 = メッシュの製品出荷額 × (使用数量 / 製造品出荷額) × 原単位 (g/日)

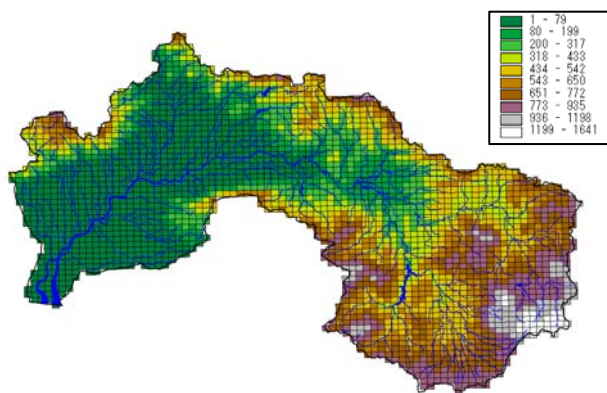


図-5 筑後川流域標高図

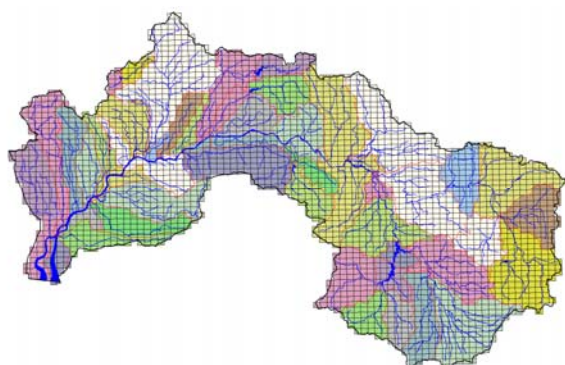


図-6 筑後川流域分割図

(3) 1次元不定流・移流拡散モデルの構築

1次元不定流・移流拡散モデルは河口から23km地点の筑後大堰～上流の37.6kmまでの約15kmの区間であり、メッシュサイズは400mである。各メッシュに横断面の情報を与え、上流段の境界条件に物質循環モデルの結果を与えた。なお、この区間内に直接流入する支川および残留域からの負荷量は横流入として与えた。流域の物質循環モデルで出力がない水質項目については観測結果を与えている。表-3に境界条件の設定方法を示す。

表-3 境界条件の設定

項目		境界条件	
河口条件	流入河川	流量、水質	流域モデルから算出される日平均流量と日平均水質から均等割りして与える。
		IN,IP	水質の実測値がある河川についてはIN/IP割合、IP/TP割合との関係を求め、流域モデルの全窒素、全リンからIN、IPに変換 実績データがない河川については土地利用割合から変換式を求め、流域モデルの全窒素、全リンからIN、IPを計算
		Chl-a	一定値 (1 μg/L) として与える。
		DO	流入河川水温に対する飽和濃度で与える。
		水温	水温の実測がある河川については流入河川の実績水温と気温の相関式を用いて気温から水温を変換
開境界条件	水温	気温との相関式で与える。	
	水質	物質循環モデルの結果から与える。物質循環モデルの出力がない項目については観測から与える。	
風速		気象庁日田測候所の日平均風速で与える。	
気象条件(気温、日射量)		気象庁日田測候所(日射量は福岡測候所)	
初期条件		水質、水温 筑後大堰観測値の平均	

4. 計算モデルの再現性検討

現況再現計算は低水および出水期間を含む2年間(2004.1.1～2005.12.31)を対象とした。分布型モデルの採用により出水初期に大量に流出される面源負荷量の再現が可能となる。図-7に2005年の流量再現結果を示す。再現地点は筑後大堰上流の瀬ノ下地点とした。低水時および出水時の流量の再現性が良好であることがわかる。図-8に筑後大堰直上流地点におけるCOD、TN、TP、クロロフィルaの計算結果を示す。低水・出水期における水質の変遷が再現できていることが分かる。また、1次元不定流・移流拡散モデルの採用により出水時の栄養塩の大量流入とその後の筑後大堰湛水域での生物過程による水質変化状況が表現でき、採用以前と比較してCODの再現性が改善された。

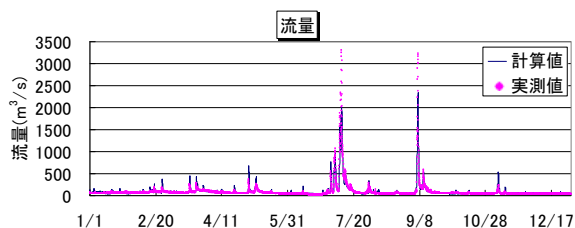


図-7 瀬ノ下地点における流量比較(2005年)

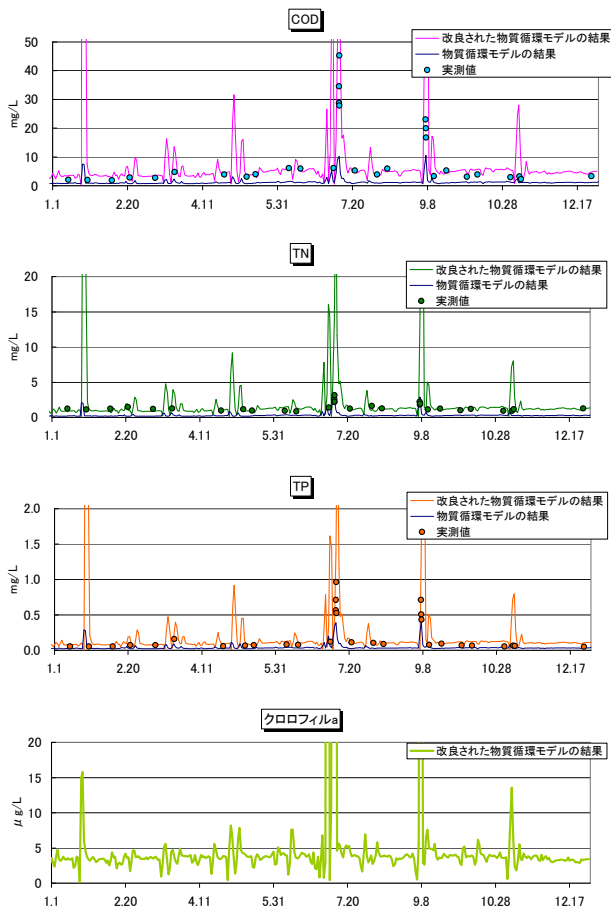


図-8 瀬ノ下地点における水質濃度比較(2005年)

表-4 調査期間中の水質(平均値±1SD, n=9)

水質項目	区間		
	杖立	松原	小五馬
栄養塩類(mg/L)			
TN	0.651±0.069	0.423±0.072	0.475±0.105
NH4	0.040±0.012	0.043±0.009	0.030±0.007
NO2	0.002±0.001	0.002±0.001	0.002±0.001
NO2+NO3	0.480±0.047	0.311±0.067	0.374±0.104
NO3	0.478±0.046	0.310±0.067	0.371±0.105
DIN	0.520±0.056	0.354±0.067	0.403±0.105
TP	0.033±0.008	0.015±0.005	0.020±0.007
PO4	0.030±0.005	0.008±0.003	0.009±0.005

5. モデル精度の検証用データの取得について

モデルの構築と並行して、その再現精度を検証するためのデータを取得することを試みた。当初、出水時の水質データを現地調査により取得する予定であったが、出水時データが国土交通省により取得されており、特に必要ないことが判明したため、今回は既存データのあまり揃っていない上流域において平水時の水質データを取得することにした。

調査地点は、大分県日田市近郊の松原ダム直下地点、大山川ダム直下地点、ならびに上流にダムがない杖立地点である。2007年4月～7月において概ね2週間間隔で、加えて9月21日に採水した。採水サンプルは冷凍保存し、オートアナライザーで全リン、全窒素、無機態リン・窒素の測定を行った。測定結

果として観測期間中の平均的な値を表-4に示す。これらのデータについては、今回のモデル構築にあたって再現性の検討には使用していないが、今後同種のデータを蓄積していく予定であり、それらと合わせてモデルの精度検証に利用していく予定である。

6. まとめ

本研究では、筑後川流域を対象に総合的な水物質循環モデルを構築することを試みた。研究成果を整理すると以下ようになる。

①分布型水物質循環モデルの改良を行い、流域の土地利用状況変化による閉鎖性水域への汚濁負荷量変化が精度良く評価できるようになった。

②1級河川である筑後川の水物質循環モデルの構築がほぼ完成した。

今後の予定として、(1)有明海全流域の水物質循環に関する既往資料の整理を行うこと、(2)有明海流域全体の物質循環モデルを構築し、有明海流域の水物質循環の変遷過程を概観すること、(3)環境保全対策の評価の検討を実施すること、(4)モニタリング方法を検討すること、(5)GISによる流域データベースの構築を行うこと、などを考えている。

最後に、本研究を遂行するにあたって、研究資金を援助頂いた社団法人九州地方計画協会に感謝の意を表する。