有明海流入主要河川の流入負荷特性

INFLOW LOADS CHARACTERISTICS OF MAJOR RIVERS FLOWING INTO THE ARIAKE SEA

緒方直人¹・大串浩一郎²・手塚公裕³

Naoto OGATA, Koichiro OHGUSHI and Masahiro TEZUKA

¹学生会員 佐賀大学大学院工学系研究科 (〒840-8502 佐賀市本庄町1番地)

²正会員 博士(工学) 佐賀大学大学院工学系研究科 教授 (〒840-8502 佐賀市本庄町1番地)

³正会員 博士(工学) 日本大学工学部土木工学科 助教 (〒963-8642 郡山市田村町徳定字中河原1)

This study examines a relationship between rainfall, land use and inflow loads of major rivers flowing into the Ariake Sea. Inflow loads are estimated by normal or freshet stage of water discharge. A multiple regression analysis is implemented to obtain both factor for characterizing the inflow loads and those of varying the amount of the inflow loads. From 1976 to 2006, the change of land use were not dominant in the river basins for the Ariake Sea. The Rainfall patterns, change were not recognized in the Ariake sea basin from 1981 to 2010. The river basin areas affect the inflow discharge and loads of COD, T-N and T-P. The land use greatly affects the inflow loads.

Key Words : *major rivers flowing into the Ariake Sea, inflow loads characteristics, long-term variation multiple regression analysis*

1. はじめに

有明海では、1980年代に漁獲量の減少が始まり、2000年12月に生じた大規模赤潮に伴うノリ不作をきっかけに環境異変が注目された。2002年には「有明海及び八代海を再生するための特別措置に関する法律」が施行され、その後、有明海における環境異変の原因解明と対策が進められてきたが、明らかにされていない問題が未だに多く存在している。

有明海の環境異変解明に関する検討として、堤ら¹⁾や小松ら²⁾は有明海の赤潮発生のメカニズムや物質輸送の変化に関する検討を行っている。しかし、東京湾や瀬戸内海よりも閉鎖性が強いにも関わらず、有明海では陸域の影響に関する知見は少なく、検討が必要となっている。

環境省有明海・八代海総合調査評価委員会の報告書³⁾では、1965~2001年の年流入負荷量の一部が算定されている。朴ら⁴⁾は、有明海流入河川流域の分布型流出モデルを構築し、土地利用等の環境変化が流出水量に与える影響を考察している。しかし、これらの報告では幾つかの代表年を対象とした断続的な検討にとどまっており、有明海流入河川ごとの検討も不十分である。有明海の環境変化のメカニズムを把握するためには、有明海に流入する主要河川について連続的なデータを用いた流域特性や土地利用の影響についての検討が必要である。また、

流入負荷が有明海の赤潮に影響することは明らかであり⁵⁾、対策を検討するためにも、有明海流入主要河川の流入特性を把握しておくことが望ましい。また、閉鎖性の強い海域に流入する河川の特性を把握するため、流入負荷を平水時と出水時に分けて検討した研究⁶⁾はあるが、長期的な流入特性の検討はあまり見られない。

一方、流入負荷が海洋環境に及ぼす影響を定量的に把握するためには、流域地形を詳細に考慮することが可能な分布型流出モデルを構築することが有効であるといわれている⁷⁾。分布型流出モデルを構築するためには、流域の各構成要因(標高、地質等)が流入負荷に及ぼす影響や環境変動要因(降雨量、人口等)が流入負荷の変動に及ぼす影響を定量的に把握することが望ましい。しかし、このような流域の各因子が流入負荷に与える影響について検討を行っている研究は少ない。

そこで本研究では、著者らが既往の研究⁵⁾で推定した1981~2010年(30年間)の主要河川の流入水量・負荷量データを用いて、土地利用、降雨との関係性および平水時と出水時における流入特性の河川毎の相違を検討した。また、複数の流域構成要因の中で流入水量・負荷量に影響を及ぼす因子を把握するため、まず有明海主要11河川全てを対象とした重回帰分析を行った。そして、影響があると判断された流域構成要因と環境変動要因を用いた重回帰分析により、各河川の流入水量・負荷量に及ぼす因子と影響度を検討した。

2. 研究方法

(1) 河川流域データの整理

本研究では有明海流入主要河川（全一級河川および二級河川であるが流域面積の大きい塩田川）の流域構造が単純な順流域を対象に検討を行った(図-1)。

有明海流入主要河川順流域からの流入水量・負荷量は既往の研究⁵⁾より推定したデータを用いた。流入水量は、順流域末端地点の時刻流量データの欠測を補間し、1981~2010年のデータを推定した。負荷量は、順流域最下流の観測所の水質データ(1981~2010年)を収集し、流量と負荷量の関係式（L-Q式）から推定した。

主要河川流域の土地利用の変遷を見るため、国土交通省国土数値情報より入手した土地利用データ(1976,1987,1991,1997,2006年)を田、畑、市街地、山林、その他（荒地、水域等）に分類を統一し、GIS解析により土地利用の割合を算出した。

主要河川順流域の降雨パターンの長期変化を検証するため、図-1に示す雨量観測所の1981~2010年における時間雨量データを用いて、ティーセン法により流域平均雨量を算定し、降雨特性を把握するため、年間降雨量、豪雨回数（時間雨量20mm以上）、降雨時間数を算出した。

本研究で用いた主要河川の流量・負荷量のデータは著者らが既往の研究⁵⁾で推定した過去30年間(1981~2010年)のデータを用いた。また、流出機構の異なる平水時と出水時に分類し、河川ごとの流出特性を把握した。平水時と出水時の分類方法は既往の研究⁵⁾においてL-Q式を作成した際の分類基準比流量を使用し、比流量が $0.1\text{m}^3 \cdot \text{km}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ 以下の時を平水時、それよりも大きい時を出水時とした。

(2) 流入水量・流入負荷量に影響を及ぼす流域構成要因の抽出方法

流域構成要因が流入水量、流入負荷量に及ぼす影響を把握するため、主要河川順流域全てを対象に重回帰分析を行った。ここでは流域面積や土地利用割合の異なる11

流域を合わせて解析することで、流域構成要素の影響を明らかにした。

重回帰分析に用いた目的変数と説明変数を表-1に示す。目的変数は、既往の研究で推定した流入水量とCOD、T-N、T-P負荷量とし、説明変数は土地利用割合（田、畑、市街地、山林）、平均傾斜角度、平均標高、流域面積、地質指標、土壌指標、ダム湛水面積、流域人口、製造品出荷額、家畜数（牛、豚）とした。

土地利用割合、平均傾斜角度、平均標高、流域面積は、国土数値情報の土地利用3次メッシュ(1976,1987,1991,1997,2006年)、標高傾斜度3次メッシュデータのGIS解析により算出した。ダム湛水面積は、ダム年鑑⁸⁾からダム運用開始年とダム湛水面積を抽出し、1981~2010年における各河川流域のダム湛水面積を算出した。地質指標、土壌指標は国土交通省土地分類基本調査から入手した表層地質図(1968年)、土壌図(1968年)を用いてGIS解析により各地質と土壌の種別面積を算出した。地質、土壌種別ごとにダミー変数を振り分け、それらに各種別面積を乗じて合計したものを各河川流域の地質指標、土壌指標とした。なお、地質、土壌の経年変化は小さいと考える。

流域人口は総務省統計局から入手した都道府県別人口(1981~2010年)とGIS解析で算出した都道府県別面積から各都道府県の1981~2010年における人口密度を算出し、対応した都道府県別に各流域面積を乗じることで各河川の流域人口を算出した。製造品出荷額、家畜数は有明海水域に係る下水道整備総合計画に関する基本方針策定調査報告書（有明流総）⁹⁾の流域フレーム(1995,2000,2005,2010年)を使用した。既往の研究⁵⁾で推定した流入水量・各負荷量や後述する土地利用等の連続データは経年的な変化がないと考えられたため、年平均値をとることで各流域の代表値とした。

重回帰分析の説明変数の決定方法はステップワイズ法を用い、重回帰分析の精度を決定係数(R^2)と自由度調整済み決定係数(補正済み R^2)で評価した。流入水量と各負荷量に及ぼす影響度の指標として標準偏回帰係数を用い、この値の絶対値が高いほど影響度が大きい。

多重共線性を回避するため各流域構成要因の合計を算

図-1 本研究における対象流域と各観測所

表-1 流域構成要因解析に用いて変数とその入手元

使用変数	項目	単位	データの入手元
目的変数	流入水量	m^3/year	既往の研究 ⁵⁾
	COD負荷量	ton/year	
	T-N負荷量	ton/year	
	T-P負荷量	ton/year	
説明変数	田割合	%	国土交通省 国土数値情報
	畑割合	%	
	市街地割合	%	
	山林割合	%	
	平均標高	m	
	平均傾斜角度	°	GIS解析より算出
	流域面積	km^2	
	地質指標		国土交通省 土地分類基本調査
	土壌指標		
	ダム湛水面積	ha	ダム年鑑(2011) ⁸⁾
	流域人口	人	総務省 統計局
	製造品出荷額	万円	有明流総 ⁹⁾
	牛	頭	
	豚	頭	

出し、各流域構成要因を各合計値で除した値を説明変数として用いた。また、説明変数間の多重共線性を表すVIF (Variance Inflation Factor :分散拡大要因)の値が10以上で問題とされている。本研究で重回帰分析に用いた全ての説明変数でVIFを算出した結果、全説明変数でVIFが10を下回り多重共線性がないことを確認した。

(3) 流入水量・負荷量に影響を及ぼす環境変動要因の抽出方法

各河川流域からの流入水量・負荷量の変動に影響を及ぼす要因を把握するため、有明海流入主要11河川を河川ごとに重回帰分析を行った。ここでは11流域を個別に解析することで、各流域における影響因子を明らかにした。

重回帰分析に用いた目的変数と説明変数を表-2に示す。目的変数は既往の研究⁵⁾で推定した1981~2010年の流入水量とCOD、T-N、T-P負荷量のデータを用いた。説明変数は前節で述べた流域構成要因を重回帰分析で影響があると判断された因子に加え、環境変動要因（年間降雨量、豪雨回数、降雨時間数、日平均気温）を用いた。断続的なデータ（土地利用割合、製造品出荷額、家畜数）は線形補間を行い1981~2010年のデータを算定した。

重回帰分析の方法および精度評価は前節と同様の方法で行い、各河川流域の流入水量、COD、T-N、T-P負荷量の変動に及ぼす要因を分析した。なお、流域面積は経年的な変化がないため、説明変数から除外した。

3. 結果と考察

(1) 主要河川順流域の土地利用の変遷

表-3に主要河川順流域の土地利用割合を示す。

表-3 有明海流入主要河川順流域の土地利用割合

河川名 (順流域面積)		本明川 (38.0km ²)	六角川 (32.3km ²)	牛津川 (94.0km ²)	嘉瀬川 (276.4km ²)	筑後川 (2316.7km ²)	矢部川 (450.9km ²)	菊池川 (897.7km ²)	白川 (480.0km ²)	加勢川 (191.5km ²)	緑川 (680.9km ²)	塩田川 (101.8km ²)
土地利用割合(%)	1981年	田 13.4	20.9	17.9	14.9	16.7	9.6	19.5	20.9	17.5	11.4	16.6
		畑 19.2	17.3	20.2	5.4	4.1	11.5	15.8	11.2	30.7	7.4	17.0
		市街地 6.2	4.8	6.4	2.4	5.0	2.6	4.9	5.9	8.1	1.6	4.7
		山林 58.2	56.3	53.0	72.9	63.0	74.7	52.2	30.6	30.9	62.8	59.4
		その他 3.0	0.7	2.5	4.3	11.3	1.6	7.6	31.4	12.8	16.8	2.3
	1989年	田 13.2	20.8	17.0	14.8	15.3	9.2	19.1	21.0	20.0	11.6	15.6
		畑 14.9	15.6	18.0	5.1	5.2	12.9	15.0	10.1	24.7	7.5	16.2
		市街地 6.3	4.7	6.3	2.5	5.7	2.6	5.6	7.0	11.3	1.9	5.9
		山林 63.6	57.4	55.4	73.7	62.4	73.7	53.8	30.7	30.8	62.8	59.7
		その他 2.0	1.5	3.3	3.8	11.3	1.5	6.5	31.2	13.2	16.2	2.5
	1997年	田 13.2	20.6	16.6	14.8	15.3	9.2	19.0	20.9	19.7	11.6	15.6
		畑 14.9	15.3	17.9	4.9	5.4	12.9	15.0	10.0	24.4	7.7	16.2
		市街地 6.3	5.6	6.2	2.4	5.8	2.6	5.6	6.7	11.3	1.8	5.3
		山林 63.6	56.6	54.5	73.3	62.0	73.6	53.6	30.2	29.9	62.7	59.7
		その他 2.0	1.8	4.8	4.5	11.5	1.7	6.8	32.2	14.8	16.2	3.2
	2006年	田 13.2	19.8	15.8	14.9	14.8	9.0	18.8	22.4	19.2	12.0	15.5
		畑 15.5	15.2	18.1	5.0	6.2	13.5	15.4	7.9	23.6	8.3	16.1
		市街地 7.2	8.7	8.2	3.2	8.7	3.3	7.5	9.3	13.6	4.7	7.6
		山林 62.3	54.2	52.7	72.7	60.8	72.5	51.8	29.2	28.8	61.0	57.7
		その他 1.9	2.1	5.2	4.2	9.5	1.8	6.4	31.3	14.8	14.0	3.1
	2016年	田 12.0	17.5	15.1	14.0	13.5	8.1	18.1	22.5	22.8	11.0	14.4
		畑 16.3	13.0	15.2	3.8	5.3	13.0	14.8	7.5	19.3	7.5	13.7
		市街地 8.8	9.0	9.0	3.6	10.8	3.2	8.9	9.5	13.0	4.8	7.3
		山林 60.8	57.5	53.7	73.9	61.3	71.4	51.3	30.0	30.3	62.5	60.8
		その他 2.0	3.0	7.0	4.7	9.2	4.3	7.0	30.5	14.6	14.2	3.9

1976~2006年の期間において主要河川流域では市街地割合が平均約3%増加している程度であり、土地利用に大きな変化はないものと考えられる。

有明海陸域（順流域＋感潮域）における山林割合が50%程度であるのに対し、主要河川順流域の山林割合は55%程度であった。これは主要河川順流域が上流部に位置しているため、高い値を示していると考えられる。一方、嘉瀬川流域と矢部川流域では山林割合が70%程度であり、白川流域と緑川支川加勢川流域の山林割合は30%程度となっており、差が見られた。有明海順流域では、土地利用が流入負荷特性の違いを生む可能性があると考えられる。

(2) 有明海流入河川順流域における降雨パターンの変化

図-2に主要河川順流域の降雨パターン（年間降雨量、豪雨回数、年間降雨時間数）の経年変化を示す。降雨量、年間降雨時間数の最大値は1993年で豪雨回数の最大値は

表-2 流入水量・負荷量の流域環境変動解析に用いた変数とその入手元

使用変数	項目	単位	データの入手元
目的変数	流入水量	m ³ /year	既往の研究 ⁵⁾
	COD負荷量	ton/year	
	T-N負荷量	ton/year	
	T-P負荷量	ton/year	
説明変数	田割合	%	国土交通省 国土数値情報
	畑割合	%	
	市街地割合	%	
	山林割合	%	
	流域人口	人	総務省 統計局
	製造品出荷額	万円	有明流総 ⁹⁾
	牛	頭	
	豚	頭	
	年間降水量	mm	気象庁
	豪雨回数	回	
	降雨時間数	時間	
	日平均気温	℃	

1997年であり、年間降雨量、豪雨回数、年間降雨時間数の最小値は1994年となっていた。降雨パターンの変化は、全主要河川順流域でほぼ同様の傾向であった。

降雨パターンの1981~1995、1996~2010年の2期間でF検定とt検定を行った結果、年間降雨量、豪雨回数、年間降雨時間数の全項目で有意差がなく($p>0.05$)、経年的な降雨パターンの変化はないと考えられた。そこで、平水時(降雨の影響を受けない)と出水時(降雨の影響を受ける)に分けて、河川ごとの流入負荷特性について考察を行う。

(3) 各河川における平水時と出水時の流入特性

図-3に1981~2010年の各河川順流域における比流量、比負荷量(COD、T-N、T-P)の平均値を平水時分と出水時増分に分けて示す。

平水時分の比負荷量、COD、T-N、T-P負荷量では加勢川流域が高い値を示した。出水時増分の比流量、比T-N負荷量では塩田川流域が最も高い値を示し、比COD、T-P負荷量では白川流域が最大値であった。

比流量については、平水時分<出水時増分となっているものは本明川、六角川、牛津川、矢部川、塩田川流域であり、平水時分>出水時増分となっているものは嘉瀬川、筑後川、菊池川、白川、緑川で流域あった。これらは土地利用の空間分布や表層地質の分布などの影響によるものと考えられる。

比COD、T-P負荷量では、加勢川流域以外の全ての流域で平水時分<出水時増分という関係になっていた。有機物とリンについては出水時に懸濁態の有機物やリンが増加するという報告がある¹⁰⁾。

比T-N負荷量では、ほとんどの河川が比流量の平水時分と出水時増分の大小関係と同じになっているが、菊池川、緑川流域の平水時分と出水時増分の大小関係が比流量と比べ逆転し、出水時増分の値が高くなっていることが分かる。比T-N負荷量については、降雨時(出水時)の河川で土壌からの溶脱による硝酸態窒素($\text{NO}_3\text{-N}$)濃度の増加が報告されており¹¹⁾、降雨時流出のファーストフ

ラッシュの影響によりアンモニウム態窒素($\text{NH}_4^+\text{-N}$)濃度が増加すると考えられる¹²⁾。このように出水時では流域要因や環境変動要因が流入特性に影響を与えると考えられる。

加勢川流域には豊富な地下水が存在し、江津湖など多数の湧水群が存在している¹³⁾。特に江津湖は年平均湧水量が約40万 $\text{m}^3 \cdot \text{day}^{-1}$ であり、加勢川流域からの流出量の約4割を占めているといわれている。加勢川流域とその他の主要河川流域の順流域末端地点の水質観測所での平均水質を比べると、COD濃度は3.1mg/Lで約1.2倍、T-N濃度は3.65mg/Lで約2倍、T-P濃度は0.223mg/Lで約1.8倍であった。

白川流域では比COD負荷量が他流域と比べ1.5倍程度高い値を示した。白川流域には、「ヨナ」と呼ばれる黒ボク土が多く分布している¹⁴⁾。「ヨナ」には有機物含有量が多く、比重が軽いいため土壌が降雨などにより流出しやすいという特徴がある¹⁵⁾。白川の時間雨量・負荷量データを確認した結果、豪雨時においてCOD負荷量が

図-2 有明海の降雨パターンの経年変化

図-3 平水時分および出水時増分の比流量と各負荷量の流入特性

増加している傾向がみられた。そのため、白川流域では降雨により「ヨナ」が巻き上げられ、流域の末端に流出したことによってCOD負荷量が増加する特徴があると考えられる。

前述した因子以外にも流入水量・負荷量を特徴づける要因が考えられるが、単純なデータの比較のみでは流入水量・負荷量の影響因子を十分に抽出することが難しいと考えられる。そこで、各河川流域の流入水量・各負荷量と流域構成要因・環境変動要因データを用いて重回帰分析を行い、流入水量・負荷量に影響を及ぼす因子について考察を進める。

(4) 流入水量・負荷量に影響を及ぼす流域構成要因の抽出

重回帰分析により抽出した流入水量、各負荷量に及ぼす流域構成要因を表-4に示す。流入水量と各負荷量の全てで流域面積の標準偏回帰係数が高く、影響を大きく受けることが分かった。これは、流入水量と各負荷量が降雨に依存するためであると考えられる。また、流入水量と各負荷量全てで補正済み R^2 が0.95を超える値となり、表-4に示す説明変数で各負荷量を十分に説明できた。

また、COD負荷量では山林と畑、T-N負荷量では市街地、T-P負荷量では畑と市街地が影響因子として抽出された。土地利用割合の違いによる負荷量の影響を把握するため、仮に説明変数の山林割合を1, 3, 5%増加させた場合、COD負荷量は8, 40, 65%程度減少する。畑割合を1, 3, 5%増加させた場合、COD負荷量は5, 5, 27%程度減少し、T-P負荷量は3, 9, 13%程度減少する。市街地割合を1, 3, 5%増加させた場合、COD負荷量では変化が見られず、T-N負荷量では2, 5, 8%増加し、T-P負荷量では5, 14, 24%程度増加した。以上の結果から、土地利用割合の変化が各負荷量に与える影響が示唆された。このように主要河川順流域全てで考えると、流入水量・負荷量に影響を及ぼす流域構成要因として、流域面積と土地利用割合が抽出された。しかし、各河川を個別に考えると、流域面積の変化はなく、土地利用割合の変化は小さいため、影響因子とはならない。一方、平時時と出水時の流入特性の相違から、降雨などの環境変動要因が流入水量・負荷量に影響を及ぼすと考えられた。そこで各河川における流入水量・各負荷量の影響因子について、抽出した流域構成要因と環境変動要因を用いた重回帰分析により検討した。

(5) 各河川における流入水量・負荷量の影響因子

重回帰分析により抽出した環境変動要因が流入水量と負荷量に及ぼす影響度を表-5に示す。標準偏回帰係数が高いことから全河川流域の流入水量、COD、T-N、T-P負荷量の全項目で年間降雨量が影響する因子ということが分かった。

本明川、六角川、筑後川、菊池川、緑川、矢部川、白

表-4 重回帰分析による流入負荷の流域構成要因

流入水量		
	標準偏回帰係数	有意水準
流域面積	0.974	$p<0.01$
決定係数 R^2	0.987	
自由度調整済み決定係数	0.986	
COD負荷量		
	標準偏回帰係数	有意水準
流域面積	0.916	$p<0.01$
山林割合	-0.946	$p<0.01$
畑割合	-0.487	$p<0.01$
決定係数 R^2	0.994	
自由度調整済み決定係数	0.992	
T-N負荷量		
	標準偏回帰係数	有意水準
流域面積	0.850	$p<0.01$
市街地割合	0.551	$p<0.05$
決定係数 R^2	0.969	
自由度調整済み決定係数	0.961	
T-P負荷量		
	標準偏回帰係数	有意水準
流域面積	0.969	$p<0.01$
市街地割合	0.814	$p<0.01$
畑割合	-0.373	$p<0.01$
決定係数 R^2	0.998	
自由度調整済み決定係数	0.997	

川の流入水量の補正済み R^2 は0.8以上であり、流入水量は年間降雨量のみで十分説明が可能であると考えられた。その他の河川で低い値を示した原因は、本研究で考慮していない、地下水位の変化やダムの放流量等の影響が考えられる。

COD、T-P負荷量では、塩田川以外の全河川で豪雨回数が影響因子として抽出された。よって、白川流域の「ヨナ」の流出のように、他流域においても土壌流出が負荷量変動に影響を及ぼしている可能性が示唆される。

流入水量と比較すると各負荷量の補正済み R^2 が低い。その原因として、本研究では考慮していない地下水位、ダムの放流や下水放流量の変化等が影響している可能性がある。

牛津川のCOD、T-N負荷量では流域人口が影響し、矢部川流域の流入水量、T-P負荷量では畑割合、COD、T-P負荷量では日平均気温が影響した。白川のCOD、T-P負荷量では製造品出荷額が影響し、加勢川の流入水量、COD負荷量では畑割合、家畜数（牛）、T-N、T-P負荷量では市街地割合、製造品出荷額、家畜数（牛）が影響因子として抽出された。このように各河川流域からの流入水量、各負荷量に影響を及ぼす因子を抽出し、有明海順流域の特性の一端を明らかにすることができた。

4. 結論

本研究で得られた結論を以下に示す。

- (1) 1976～2006年の期間で有明海流入主要河川順流域の土地利用は大きな変化がなかった。また、有明海陸域の降雨パターンに経年的な変化がないと考えられた。

表-5 重回帰分析による各河川での流入水量・負荷量の影響因子

河川	目的変数	偏回帰係数(影響度)		補正済み R ²	河川	目的変数	偏回帰係数(影響度)								補正済み R ²
		年間 降水量	豪雨 回数				畑割合	市街地 割合	流域 人口	製造品 出荷額	牛	年間 降水量	豪雨 回数	日平均 気温	
本 明 川	流入水量	1.355*		0.852	牛 津 川	流入水量						2.781*			0.798
	COD負荷量	1.343*	0.467*	0.854		COD負荷量			5.302**			2.188*	0.919*		0.836
	T-N負荷量	1.651*		0.859		T-N負荷量						3.330*			0.820
	T-P負荷量	1.314*	0.342*	0.864		T-P負荷量			4.785**			1.777*	0.900*		0.819
六 角 川	流入水量	0.896*		0.895	矢 部 川	流入水量	21.158**					13.877*			0.888
	COD負荷量	0.622*	0.207*	0.743		COD負荷量						6.269**	6.213*	24.656**	0.787
	T-N負荷量	0.815*		0.75		T-N負荷量	31.610**					16.159*	2.553**		0.888
	T-P負荷量	0.573*	0.268*	0.753		T-P負荷量						5.017**	5.549*	22.010**	0.777
嘉 瀬 川	流入水量	0.896*		0.743	白 川	流入水量						0.902*			0.812
	COD負荷量	0.622*	0.207**	0.805		COD負荷量				-3.800**		21.138**	13.228*		0.715
	T-N負荷量	0.815*		0.750		T-N負荷量						13.339*			0.796
	T-P負荷量	0.573*	0.268**	0.753		T-P負荷量				-2.276**		14.796*	7.731*		0.761
筑 後 川	流入水量	62.121*		0.895	加 勢 川	流入水量	1.264*				-0.002*	-5.862*	8.724*		0.666
	COD負荷量	66.730*	21.465*	0.709		COD負荷量	0.485*				-0.001*	-2.230*	3.348*		0.713
	T-N負荷量	56.498*	6.757*	0.873		T-N負荷量		16.052*		-11.027*	7.768*	4.844*	0.007*		0.726
	T-P負荷量	70.269*	22.308*	0.709		T-P負荷量		8.389*		-5.755*	4.067*	2.536*	0.004*		0.727
菊 池 川	流入水量	23.107*		0.868	塩 田 川	流入水量						2.825**			0.743
	COD負荷量	25.056*	14.896*	0.744		COD負荷量						2.404*			0.733
	T-N負荷量	23.001*	3.857**	0.881		T-N負荷量						4.678**			0.764
	T-P負荷量	23.373*	10.548*	0.800		T-P負荷量						2.502*			0.717
緑 川	流入水量	18.669*		0.958											
	COD負荷量	14.293*	13.277*	0.843											
	T-N負荷量	12.756*	2.994*	0.946											
	T-P負荷量	9.753*	10.644*	0.844											

*: p < 0.01 **: p < 0.05

- (2) 有明海流入主要河川の平水時分と出水時増分の比流量、各比負荷量を比較することで、河川により出水時の負荷量の増加特性が異なることが分かった。また、緑川支川加勢川流域の流入水量、COD、T-N、T-P負荷量は湧水の影響、白川流域のCOD負荷量は有機物含有量が多く比重の軽い黒ボク土の影響を受けているものと考えられた。
- (3) 流域構成要因を用いた重回帰分析による流入水量・負荷量の影響因子解析により、有明海流入主要河川順流域の流入水量、COD、T-N、T-P負荷量全てで流域面積が影響因子として抽出された。また、土地利用の変化が流入負荷量に与える影響が示唆された。
- (4) 環境変動要因を用いた重回帰分析による流入水量・負荷量の影響因子解析から、有明海流入11河川の流入水量と各負荷量の変動に及ぼす因子を河川毎に抽出し、年間降雨量が流入水量・負荷量の変動に与える影響が大きいことが分かった。

謝辞：本研究は、平成24年度笹川科学研究助成および科研費基盤研究（A）（21246078、代表者：松永信博）の助成を受けたものである。データを頂いた国土交通省、農林水産省、環境省、気象庁、データ整理にご協力頂いた佐賀大学流域水工学研究室の皆様には謝意を表します。

参考文献

- 堤 裕昭ほか：陸域からの栄養塩負荷量の増加に起因しない有明海奥部における大規模赤潮の発生メカニズム、海の研究、Vol.15(2)、pp.165-189、2005。
- 小松 利光ほか：有明海の潮流ならびに物質輸送の変化に関する

研究、海岸工学論文集、Vol.53、pp.326-330、2006。

- 環境省有明海・八代海総合調査評価委員会：委員会報告、2006。
- 朴童津ほか：有明海の全流域における環境変化が流出量に与える影響の評価、水工学論文集、Vol.53、pp.481-486、2009。
- 手塚公裕ほか：有明海における陸域負荷の長期変動の推定および赤潮発生に及ぼす流入水量の影響、水工学論文集、Vol.57、pp.1735-1740、2013。
- 二瓶泰雄ほか：江戸川・荒川・多摩川における水質環境と流入負荷特性、京都大学防災研究所年報、Vol.46、pp.233-248、2003。
- 立川康人ほか：分布型流出モデルにおける空間分布入力情報の有効性の評価、京都大学防災研究所年報、Vol.46、pp.233-248、2003。
- 財団法人日本ダム協会：ダム年鑑、2011。
- 九州地方整備局：有明海水域に係る下水道整備総合計画に関する基本方針策定調査報告書、2005。
- 手塚公裕ほか：増水時における流入栄養塩負荷が閉鎖性水域の藻類増殖に与える影響、土木学会論文集、No.804,VII-37、pp.101-111、2005.11。
- 海老瀬潜一：降雨による土壌層からの河川への NO₃-の排出、衛生工学研究論文、Vol.21、pp.57-68、1985。
- 海老瀬潜一：面源負荷の流出に及ぼす水文条件の影響、国立公害研究所研究報告、No.95、pp.57-70、1986。
- 九州地方整備局：緑川水系河川整備計画【原案】、2011。
- 九州地方整備局：白川河川改修事業、2009。
- 矢野締之ほか：雲仙の火山性土に関する研究（第3報）雲仙岳東北部の火山灰土壌の理化学的性質、佐賀大学農学彙報、Vol.40、p.55-66、1976。

(2013. 9. 30受付)