

GISを用いた有明海流入河川流域の 流出・負荷モデルの構築

A STUDY ON A RUNOFF AND POLLUTANT LOAD MODEL OF THE ARIAKE SEA CATCHMENT AREA USING GIS

大串 浩一郎¹・鶴田 芳昭²

Koichiro OHGUSHI and Yoshiaki TSURUTA

¹正会員 博士(工学) 佐賀大学准教授 理工学部都市工学科 (〒840-8502 佐賀市本庄町1番地)

²正会員 工修 株式会社東京建設コンサルタント九州支店部長代理 建設環境部
(〒810-0801 福岡市博多区中洲5-6-20)

This study is aimed to build a runoff and pollutant load model of the Ariake Sea catchment area using GIS, tank model and field investigation. The model simulates hydrological phenomena in good agreement with observed one by introducing GIS based data of upstream river basins where tidal effects do not exist. In order to estimate water quantity and water quality of the downstream river basins where the tidal effects exist, a typical test field has been chosen and investigated continuously in the east Saga Plain for 7 months. Non-point pollutant load from paddy fields are estimated by observing water quality and quantity of efflux water discharge. As a result, a balance of water and substances of the paddy fields is estimated for irrigation period and non-irrigation one. By considering observed data and the existing pollutant load per unit activity, the pollutant loads from the downstream river basins are estimated.

Key Words : runoff, pollutant load, GIS, Ariake Sea, paddy field, non-irrigation period

1. はじめに

有明海を取り囲む集水域は面積8,400km²と、有明海そのものの面積の約5倍の大きさであり、有明海における生態系を規定する大きな境界条件を与える要素である。環境省有明海・八代海総合調査評価委員会の報告書¹⁾ならびに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)²⁾は、有明海陸域モデルを構築するための基礎となる資料である。昨年度のプロジェクト成果報告で、有明海に流入する主要4河川に関する流出・負荷解析ならびに既存の原単位より佐賀東部クリーク地帯の汚濁負荷量の見積もりを行った。

本研究では、上記の有明流総報告書のデータをデータベース化することと平行して、残りの主要4河川の流出・負荷解析を実施するとともに、水田地帯の灌漑期ならびに非灌漑期における汚濁負荷の現地調査と水・物質収支についての考察を行い、有明海流入陸域モデル構築のための検討を行った。

2. 有明海流入集水域の概要と有明流総について

有明海流入集水域は、流域面積約8,400km²、域内市町村は、27市95町16村の計138市町村(平成17年1月現在)で、福岡、佐賀、長崎、熊本、大分の5県にまたがる広大な流域である。流域内人口は347万人(平成17年現在)で、その大部分が福岡、佐賀、熊本3県の大河川沿川下流域に分布している。流域内には、筑後川、緑川、菊池川などの国管理の主要8河川や他の中小河川が流れ込んでいるが、平野部を中心として米、麦などの二毛作が盛んである。近年は、筑後川や他の河川群の治水・利水に関する広域連携が始まったことと、筑後川では福岡市とその近郊の都市圏への域外導水も行われている。

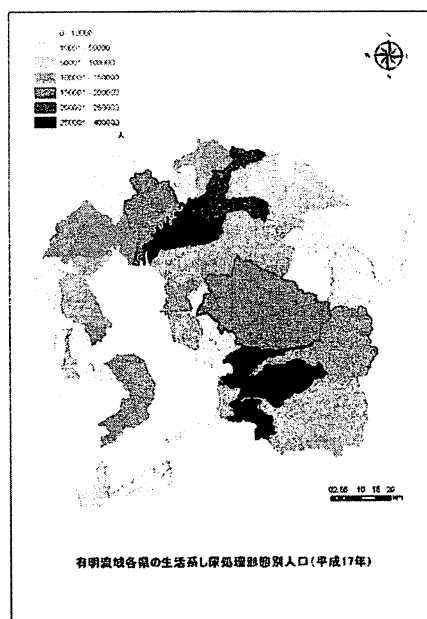
そのような中で、平成16年度に有明海水域に係る下水道整備総合計画に関する基本方針策定調査報告書(有明流総)が出され、この流域の将来的な下水道整備の指針が策定されている所である。この有明流総は、水域・海域などが2つ以上の都府県にまたがる場合の国による調整の一環で行われたもので、第1回は、昭和53年に有明海と筑後川について実施された。その後、20年以上経過し、社会情勢も変化したことと、水質環境基準にCOD以外に窒素やリンも追加されたことなどから、当初計画では平成9～12年度に実施し、県間配分を決定する予定で

あった。しかしながら、平成12年度に起きた有明海のノリ不作等に端を発した有明海問題で、関係機関による国土総合開発事業調査費（国調費）を用いた詳細な環境調査と対策検討が実施されたことにより、その成果を取り込む形で平成16年度にまとめられたのが、上記の第2回有明流総の報告書である。したがって、有明海流入集水域のモデルを構築する際には、この有明流総の報告書ならびに集められたデータを吟味し、それをベースに次のステップに進む必要がある。

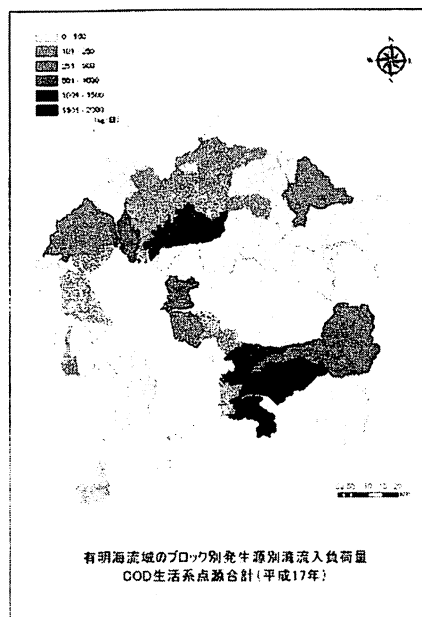
3. 有明流総のデータベース化

以上のように、有明流総の情報は重要かつ膨大な情報であるので、本研究で活用するためにも地理情報との関連付けが有効であるとの認識から、GISを用いてこの報告書の情報を整理することとした。有明流総では、主要8河川流域と塩田川流域を順流域と感潮域に分け、それぞれ、河川流域界、県界で区分し、水質基点がある所も境界として設定している。また、その他の流域は、湾直接流入域で同様に河川流域界、県界に区分するブロック区分の方針をとっている。このブロック区分の方針は、いろいろな情報を総合的に扱うのに合理的と思われるので、本研究でも同様の区分でGISのポリゴン作成を行った。

また、有明流総では、ブロック毎のフレーム値（し尿処理形態別人口、生産品出荷額、家畜頭数、土地利用面積など）ならびに原単位（排水量、発生負荷量、排出負荷量など）が整理されているので、GISの属性データとしてそれらを取り込んで、最終的に湾流入負荷量の算定ならびに各ブロックの寄与度を可視化することを試みた。



図－1 有明流総のフレーム（人口）のGIS化（H. 17）



た合計の湾流入COD負荷量をブロック毎に示したのが図-3である。図-2と比較すると、凡例のオーダーも1桁異なるが、それと同時に筑後川下流域や熊本県沿岸部だけでなく、内陸部にまで負荷発生の大きい所が広がっていることが分かる。また、T-N、T-Pについても、湾流入の点源や面源負荷量をブロック毎に整理した図も作成しているが、紙面の都合で割愛する。GISを用いて有明流総のデータを地理情報と関連づけることで、陸域と有明海の密接な関連性がイメージとして掴めることが分かる。今後、このデータベースについては、さらに情報を増やし、また、公開することも視野に入れて、より有用なものにしていく予定である。

4. 佐賀平野東部の水田・クリーク地帯における水・物質循環に関する現地調査

平成19年度に著者らは、佐賀東部クリーク地帯と千代田線分水界から排出される各項目の汚濁負荷量と排水量を既存の原単位法により求めた。しかしながら、非灌漑期において汚濁濃度が実測値と異なることが示されており、20年度は、水田からの汚濁負荷に焦点を絞り、現地調査などを実施し、より詳しい検討を行った。

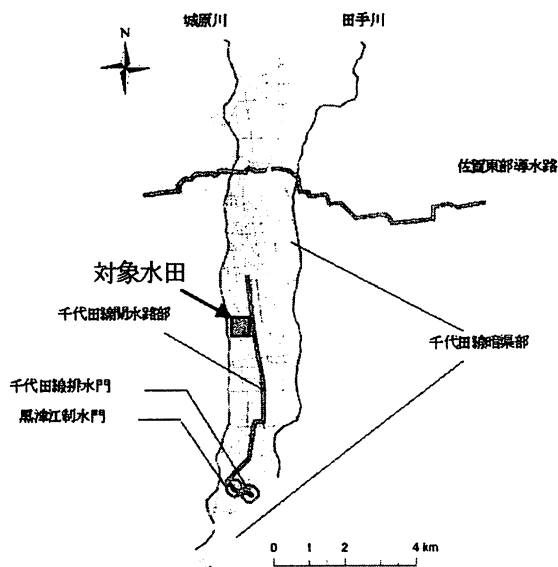


図-4 対象水田の千代田線分水界における位置

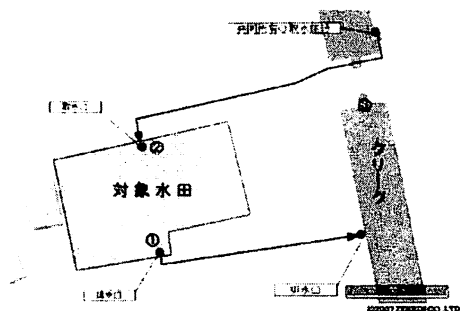


図-5 対象水田・クリークと水の流れ

(1) 研究方法

研究の対象としたフィールドは、神埼市千代田町嘉納の農家が所有する面積19aの水田である。図-4に千代田線分水界における位置、図-5に対象地の概略を示す。図-5における黒点は採水地点である。灌漑期には、隣接するクリークからポンプで取水し、排水口より再びクリークに排水している。クリークからの取水は、複数の農家が共同で所有するポンプを用いて、蛇口の開け閉めによって行っている。排水は、排水口に設置してある堰き止め板を取り外して排水している。なお、取水と排水のどちらについても、ろ過装置等の水質浄化装置は通していない。この水田では、灌漑期にはもち米の水稲作(品種：ヒヨクモチ)、非灌漑期には麦作(品種：シロガネコムギ)を行っている³⁾。稲作は6月～11月、麦作は11月～6月である。

水質調査のため、対象地区にて採水を行った。採水は、2008年7月から隔週で行い、採水地点は、水田の①排水口付近・②取水ポンプ付近、③クリークの3箇所とした。また、非灌漑期にはクリークからの取水がなく、降雨により水田に溜まった水を採水することしかできなかったため、水田の採水は12月と1月それぞれ1回ずつのみであった。採水回数は合計で15回、そのうち灌漑期に7回、非灌漑期に8回(うち水田の採水は2回のみ)であった。

採水した水の水質分析を多項目水質計と分光吸光度計により行った。水質項目はSS、pH、電気伝導度、水温、窒素(T-N、NH₄-N、NO₃-N、NO₂-N)、リン(T-P、PO₄-P)、CODなど14項目とした。

水田からの表面流出量をパーシャルフリュームと水位計により測定した。2008年11月5日に水田(排水口)に機器を設置し、設置終了時より測定を開始した。測定幅は10分毎で、水位計に溜まった測定データは採水時にデータロガーに抽出し持ち帰った。パーシャルフリュームの設置状況を写真-1に示す。



写真-1 パーシャルフリュームの設置状況

灌漑期の取水・表面流出の流量は実測できなかったため、文献からの引用により水田への取水流量、消費水量

などの諸定数を用いて算出した。非灌漑期は取水がなく、表面流出はパーシャルフリュームと水位計による実測値を用いた。灌漑期、非灌漑期の月別の取水流量・表面流出流量を表－１に示す。

表－１ 月別の取水流量・表面流出流量

	日数	取水流量 (m ³)	流出流量 (m ³)	雨水流出 (m ³)	総流出量 (m ³)
灌漑期					
7月	31	883.5	341.6	25.4	367.0
8月	31	883.5	341.6	168.2	509.8
9月	30	855.0	330.6	65.8	396.4
合計	92	2622.0	1013.8	259.4	1273.2
非灌漑期					
11月	25	-	-	-	0.9
12月	31	-	-	-	131.3
1月	31	-	-	-	13.7
合計	87	-	-	-	145.8

汚濁負荷算出に用いる汚濁濃度は、水質分析による実測値(月に2、3回)を用い、取水については、クリークの汚濁濃度の月ごとの平均値を用いた。表面流出については、水田の取水口・排水口付近の2点の濃度の平均値を月ごとに平均し、降雨流出については、雨水の水質分析結果がなかったため、文献⁵⁾よりCOD=1.15mg/L、T-N濃度=0.55mg/L、T-P濃度=0.01mg/Lを用いて算出した。

雨水については、対象地区から最も近い佐賀気象台の日雨量データを用いて、水田の面積から水田内に降った降水量を算出した。灌漑期には約30%が流出するので、全降水量の70%を降雨による流入量とした。非灌漑期については、流出流量の実測データがあったので全降水量を流入量とした。

灌漑期の蒸発散量については、文献^{6),9)}より地方別の実測値を用いて求めた。非灌漑期の蒸発散量は求められなかったので、全流入量から表面流出量を差し引いた流量を“蒸発散量と地下浸透量の合計”とした。

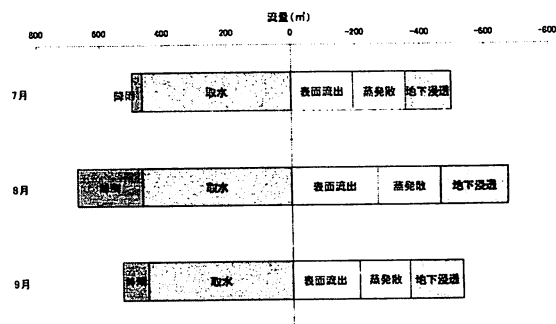
地下浸透量は、総流入量から表面流出量と蒸発散量と差し引いた値とした。地下浸透負荷についても同様に総流入負荷から表面流出と収穫の負荷量を差し引いた値とした。

施肥による窒素とリンの流入量については、「米づくりごよみ」に記載されている施肥基準により算出した。なお、穂肥については稲の生育状況により施肥量が調整されることが多いが、対象水田に何kgの施肥があったかは確認できなかったため施肥基準を参考にした。

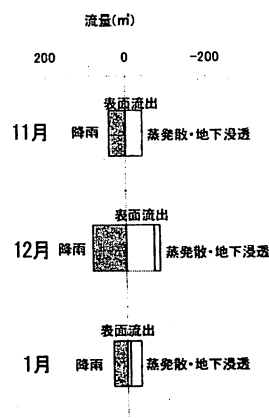
収穫した稲の窒素とリンの吸収量は、実測値がなかったため文献⁷⁾を参考に算出した。対象水田の収穫量は農協職員の方へ聞き取り調査した。

(2) 現地調査などの調査結果と考察

現地調査などの調査結果から得られた水田10aあたり



図－６ 対象水田の灌漑期の水収支 (10aあたり)

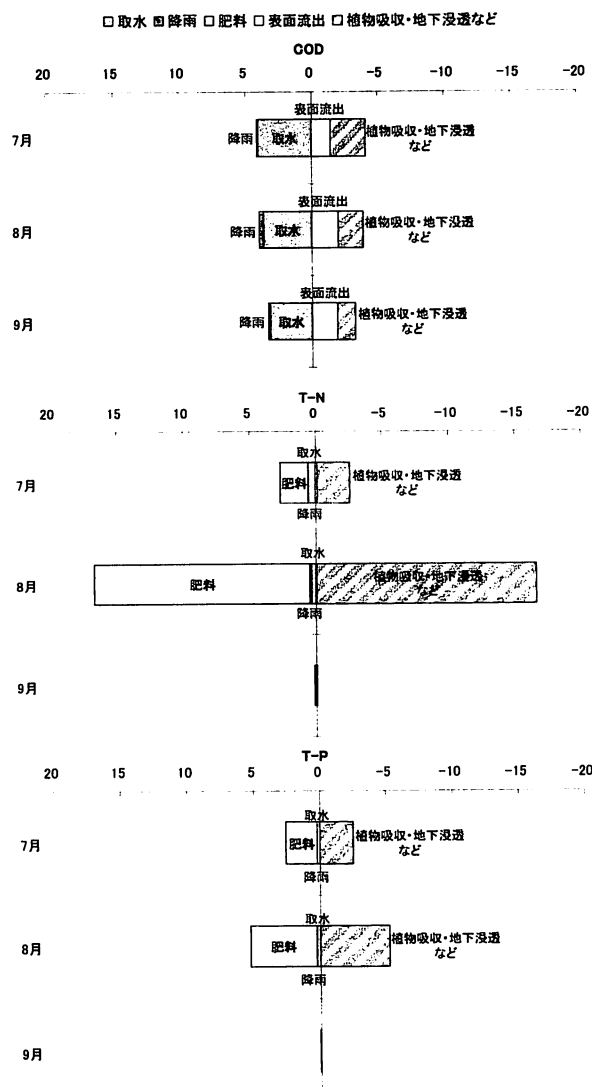


図－７ 対象水田の非灌漑期の水収支 (10aあたり)

の水収支の灌漑期のものを図－６に、非灌漑期のものを図－７に示す。灌漑期の流入量をみると、降水による流入量よりもクリークからの取水による流入量のほうが大幅に大きいことが分かる。しかし、降水量の多かった8月については降水による流入量が全流入量の3割近くを占めており、降水量の大小によって全流入量に占める割合は大きく変わることが分かる。灌漑期の流出量を見ると、全流出量の6割を蒸発散と地下浸透で占めており、流入流量うち、半分しか表面流出としてクリークに流出していない。しかし、文献によれば地下浸透量のうち70～90%は隣接するクリークに流出することが実験で確認されており、それに従えば全流入量の60～70%近くがクリークに流出していることになる。

非灌漑期については、麦作を行っているため取水がなく、流入流量は降雨による流入のみとなるため、灌漑期に比べて水収支が極めて小さい。非灌漑期の流出量はパーシャルフリュームによる実測値である。11月は降水量のうちほとんどが地下浸透・蒸発散しているが、12月については降水量のほとんどが表面流出していることが分かる。非灌漑期においては、田面は降水がない限り地表面が露出しており、降水があっても小規模なものなら表面流出せずすぐに地下浸透してしまう。このため、ある程度まとまった降水がないと、降水量は表面流出量に反映されにくいと考えられる。

灌漑期の10aあたりの物質収支を図－８に示す。稲の



図一8 対象水田の物質収支 (10aあたり) (灌漑期)

窒素とリンの吸収量は、月ごとの吸収量の推定が困難だったので、全流入負荷量から表面流出負荷量を差し引いた値を、地下浸透とあわせて「植物吸収・地下浸透」として表した。また、植物吸収・地下浸透負荷の9月のT-NとT-Pがマイナスになっているのは、取水負荷量の9月のT-NとT-Pの値が汚濁濃度の実測値がなく算出できなかったためである。

流入負荷量を項目別に見てみると、CODは主に取水により流入し、T-N・T-Pは主に肥料によって流入していることが分かる。また、9月は施肥がなかったためT-N・T-Pの流入が極めて小さくなっている。T-N、T-Pが取水と表面流出によって流入・流出する割合はほとんどなかった。降雨による流入負荷の割合はどの項目についても非常に小さい。8月には平年の1.5倍の降水量があったが、それでも8月の全流入負荷に対して降水による流入負荷はCODで8.6%、T-Nで1%、T-Pで0.05%しかなかった。

T-N、T-Pの流出負荷量についてみると、そのほとんどが表面流出以外の植物吸収や地下浸透などで流出してい

る。

クリークからの取水により流入した汚濁負荷のうち、CODとT-Nについては約半分、T-Pについては約1割が表面流出としてクリークに流出している。つまり、クリークから水田に取水した水よりも、水田からクリークに表面流出する水の方の汚濁負荷が小さくなっており、水田がクリークの水を浄化しているように考えられる。しかし、前述したように地下浸透した水はその多くがクリークに流出している。このため、地下浸透による負荷流出量がクリークへ流出している可能性が高いと考えられる。

5. 有明海流入主要河川の流出・負荷解析

本研究では、平成19年度に著者らが実施した4河川の流出・負荷解析の続きとして、GISを用いて矢部川・嘉瀬川・六角川・本明川ならびに諫早湾調整池のタンクモデルによる流出解析ならびに汚濁負荷解析を行った。

(1) GISを用いた流域の特定と流域平均日雨量・蒸発散量の推定

対象流域は順流末端地点にある水位流量観測所より上流の順流域とした。流域の特定にはESRI社のArc GISを利用した。まず、Arc GIS Spatial Analystツールを用い、国土地理院の数値地図50mメッシュ(標高)データより標高グリッドを作成した。それを元にHydrology Modelingを利用し、任意の1点より上流の流域界を求めた。このようにして矢部川・嘉瀬川・六角川・本明川の順流域を特定した。また、矢部川の日向神ダム・嘉瀬川の北山ダムの集水域についても同様にダム流量観測所地点より上流域を集水域とみなした。流域平均日雨量の算定にはティーセン法(ボロノイ分割)を用い、それぞれの雨量観測値を荷重平均して求めた。蒸発散量については、ソーンスウェイト法⁸⁾を用いて推定した。

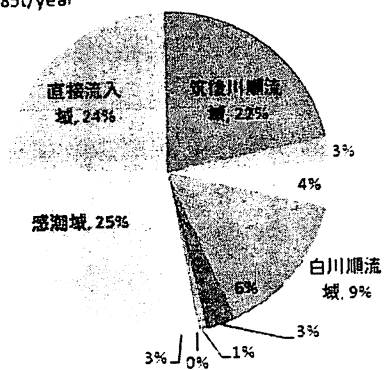
(2) 流出・負荷解析

矢部川・嘉瀬川・六角川・本明川の流出解析によって得られたタンクモデルによる流出解析結果は、実測値と比較しても良好な結果を示していた。有明海へ流入する各河川流域ならびに諫早湾調整池からの汚濁負荷量を見積もるために、主要河川順流域については、有明流総で用いられたL-Q式(各種汚濁負荷量と流量との関係式)を用いて、COD、T-P、T-Nの3つについて負荷量を算出した。流量データには平成15年の実績流量を用いた。また、有明流総で区分されている主要河川の感潮域ならびにその他の直接流入域については、有明流総の平成17年のフレームに基づき、各種原単位を乗じることで同様の水質指標について汚濁負荷量を算出した。得られた結果を図-9～11に示す。参考のために諫早湾調整池からの排水負荷量についても図示している。なお、調整池からの負荷量算出については、農林水産省九州農政局ホーム

ページで公表されている環境モニタリングデータならびに同事務所から提供された排水量データを用いている。

図－9～11に示した感潮域には、筑後川や六角川、矢部川など複数の河川の感潮域が含まれており、この割合がかなり大きい。また、その他の河川流域（塩田川含む）については直接流入域という範疇で区別している。直接流入域についても、その面積は筑後川順流域よりやや小さいが、栄養塩類の供給では非常に大きな割合を占めることが分かる。なお、諫早湾調整池からの負荷量については、本明川順流域・感潮域を除いた流域について算出しているが、特にCODとT-Pで全体の約3%の供給源となっている。

COD 95,685t/year



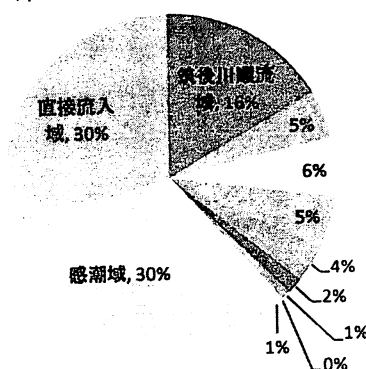
図－9 有明海流入COD負荷量の割合 (H. 15)

6. 結論

本研究では、まず、有明流総報告書のデータをデータベース化することによって、有明海流入陸域モデルの全体像を見通し良くすることができた。また、昨年度の残っていた残りの主要4河川ならびに諫早湾調整池の流出・負荷解析を実施するとともに、佐賀東部クリーク・水田地帯の灌漑期ならびに非灌漑期における汚濁負荷の現地調査と水・物質収支について検討した。有明海への負荷量の約3分の1を占める感潮域からの流入負荷量の正確な算定は非常に重要であり、今回、現地調査を行った水田地帯からの負荷量を年間を通して正確に把握することは非常に重要だと思われる。今後、さらに長期的な観測を継続して実施することで、特に原単位の評価の見直しを検討する必要があると思われる。次年度への課題としたい。

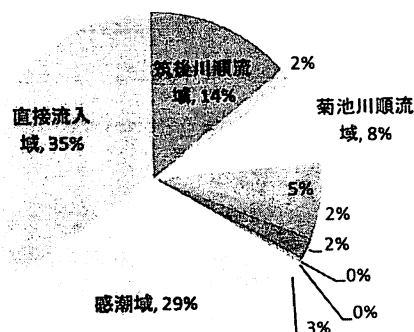
謝辞：本研究の遂行にあたり、科学研究費補助金（基盤研究(A)、研究代表者：小松利光、課題番号20246083）、佐賀大学有明海総合研究プロジェクト、特定非営利活動法人有明海再生機構より多大なるご支援をいただいた。また、国土交通省九州地方整備局、農林水産省九州農政局、福岡県県土整備部、佐賀県県土づくり本部、佐賀土

T-N 34,112t/year



図－10 有明海流入T-N負荷量の割合 (H. 15)

T-P 3,770t/year



図－11 有明海流入T-P負荷量の割合 (H. 15)

地改良区からは、貴重なデータ・資料をご提供いただいた。さらに、佐賀大学理工学部都市工学科野口剛志技術職員ならびに同学科平成20年度卒業研究生の富永大樹君、橋本裕佑君、松井浩君にはいろいろな面でサポートしていただいた。関係各位に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 環境省有明海・八代海総合調査評価委員会：委員会報告、2006.12.
- 2) 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.
- 3) JAさが神崎郡統括支所：平成20年度産うまい安全・安心米こよみ、2008.
- 4) 佐賀県農業協同組合：平成21年度産売れる麦作こよみ、2009.
- 5) 柚山義人・木下陽児郎・中村精文：筑後川下流域クリーク地帯の水質診断、農業土木学会誌、62(11)、1071-1078、1994.
- 6) 中川昭一郎：水田用水量調査計画法（その2）、農業土木学会誌、34(2)、85-90、1966.
- 7) 笹田康子：水田からの汚濁負荷の流出特性、香川県環境保健研究センター所報、第3号、2004.
- 8) 榎根勇：水文学、大明堂、1992.
- 9) 丸山利輔ほか：新編 灌漑排水 上巻、養賢堂、1995.

(2009. 4. 9受付)