

## 有明海熊本沖の水塊構造と表層堆積物分布特性

滝川 清\* ・秋元和實\*\* ・平城兼寿\*\*\* ・田中正和\*\*\*  
西村啓介\*\*\* ・島崎英行\*\*\*\* ・渡辺 柁\*\*\*\*\*

有明海における底質環境の改善に際しては、底質分布とともに、浮泥を含む底質の生成・移動・堆積等の特性の把握が重要となる。本研究の目的は、熊本沖における表層堆積物の分布特性と水塊構造との関連を調査し、底質環境の改善・維持方針に寄与する資料を得ることにある。調査の結果、潟水時と豊水時における沿岸水と橘湾から流入する外海系水の境界（潮目）の分布特性、泥質堆積物および酸揮発性硫化物量の分布と潮目の関係を明らかにした。2 次元および 3 次元の潮流流動解析結果は、表層の潮目を含む沿岸水の流動特性と有機物が吸着しやすい粘土およびシルト粒子の挙動とが極めて密接に関連していることを示唆している。

### 1. はじめに

有明・八代海における今日の環境悪化の原因分析と再生方策については、海域全体の物理・化学的環境と生物生産過程を視野に入れた総合的取り組みが必要である。筆者らは、このような観点からこの海域の環境変動について気象・海象・地象の物理環境および生態環境にわたる総合的研究を推進し、多くの研究成果をあげてきているが、これらの研究過程の中で、特に、干潟域を含めた海域全体に及ぶ底質環境の悪化が顕著であり、その回復・維持技術の開発が緊急かつ最大の課題であるとの見解に至っている。底質環境の改善に際しては、底質分布特性とともに、浮泥を含む底質の生成・移動・堆積等の特性把握が重要となる。ここに、本研究は、有明海の全域における底質調査（表層堆積物調査）を行い、特に熊本沖における表層堆積物分布特性を水塊構造との関連において調査検討したもので、底質環境の改善・維持方針に寄与する資料を得ることを目的として研究を行った。

熊本市沖の有明海では、橘湾から流入する高塩分の外海系水と周辺の唐人川、坪井川、白川、緑川からもたらされる河川水に由来する低塩分の沿岸水との明瞭な水塊の境界（潮目）が認められる（木下ら, 1980；田中ら, 2004）。秋季と春季と異なる季節で調査したにもかかわらず、両者の潮目はほぼ同じ分布であった（図-1）。田中ら（2004）は、河川流量に比例して沿岸水の下限の水深が深いことも明らかにしている。一方、柿木ら（2001）は、豊水時と最大流量時における物質濃度についてシミュレーションを行い、分布が異なることを報告している。このことは、潮目あるいは沿岸水の 3 次元の挙動を検討す

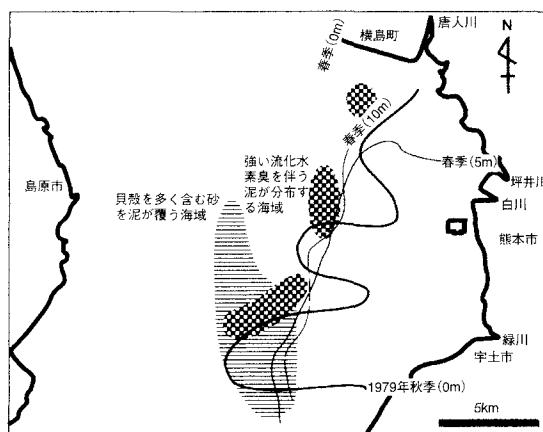


図-1 熊本沖の水塊境界と硫化水素臭泥の分布（田中ら, 2004）

る上で、河川流量が重量な因子であることを示している。

一方、潮目の近傍に分布する堆積物には、高濃度の栄養塩類が蓄積する（木下ら, 1980）。このため、硫化水素（秋元ら, 2004）およびアンモニア態窒素（吉村, 2004）が発生しやすく、堆積物が容易に還元状態になる。したがって、潮目の挙動は、海底環境の環境悪化を引き起こす有機物の負荷を考察する上で最も重要な研究の一つといえる。

さらに、有機物を吸着する粘土やシルトも潮目の周辺で堆積し（木下ら, 1980）、表層堆積物の含泥率も高い（秋元ら, 2004）。とくに熊本市沖の湾央部では、1979年に粗粒砂が分布していた（木下ら, 1980）が、24年後には厚さ 2 cm の泥が表層を覆っていた（秋元ら, 2004）。この結果は、緑川沖における堆積速度が平均 1.2 mm/年である（塚脇ら, 2001）ことと良く一致している。また、佐藤・松田（2002）は、緑川河口において沖合への泥粒子の集積が、潮汐残差流のシミュレーション（滝川ら, 2002）とよく調和しているとしている。

これらのことから、有機負荷による環境悪化の原因分析と環境保全を行うためには、有機物が集積する潮目を

\* フェロー 工博 熊本大学教授 沿岸域環境科学教育研究センター

\*\* 正 会 員 理博 熊本大学助教授 沿岸域環境科学教育研究センター

\*\*\* 学生会員 熊本大学自然科学研究科

\*\*\*\* 正 会 員 熊本大学沿岸域環境科学教育研究センター

\*\*\*\*\* 正 会 員 熊本市役所

含む表層水塊の分布と陸域から流入する物質の移動ならびに堆積に関係する底層流の両者を説明できる高精度3次元の流動モデルの開発が求められる。

閉鎖的内湾であり、干満差が大きい有明海において、表層水塊の分布は河川流入量および潮位には大きく影響される(井上, 1992)。しかしながら、熊本市沖において海面から海底直上までの3次元の水塊分布を考察した田中ら(2004)は、1週間の調査結果に基づいており、天候や干満の差異も比較していない。さらに、潮目の近傍の表層堆積物が、ほかの場所の堆積物に比べて集積・沈降してくる有機物の影響を受けていることも実証されていない。実証には、有機物の分解生成物である堆積物中の硫化物を定量する必要がある。

そこで、本研究は、水塊分布における陸域の降雨と潮汐の影響を把握するために、河川流入量が少ない時期(2004年5月)および多い時期の降雨後(2004年6月)に水質を調査した。6月の調査では、陸域からの多量の有機物と泥の供給が期待できるので、表層堆積物を採集し、含泥率と硫化物量を測定した。これらの結果と、2次元および3次元の潮流流動解析の結果とを比較した。

## 2. 研究手法

本研究では、秋元ら(2004)および田中ら(2004)と同一の調査地点(緯度・経度1分間隔の格子点)において、水質および底質を調査した。調査には熊本大学所属の実習船「ドルフィンⅡ」(9.7t)を用いた。調査地点の緯度、経度は搭載されているGPS(Furuno製)により決定し、水深は魚群探知機(Furuno製)で測定した。

河川流量の少ない時期の水質は、2004年5月7日(大潮の2日後)の満潮時に唐人川、白川、緑川の河口の沖(11地点)で、干潮時にその沖の19地点と白川河口沖の1地点で測定した。河川流量の多い時期のそれは、降雨1日後の2004年6月9日および10日(小潮)に測定した。測定は、満潮を挟んで白川沖(9日)において16地点で、緑川沖(10日)において22地点で行った。水深0~30mまでを5m間隔(水深30m以浅の海域では海底直上)で、現場用多項目水質計(Quanta:環境システム社製)を用いて塩分(psu)を測定した。

堆積物は、2004年6月の水質調査にあわせて、本座式グラブ採泥器を用いて採集した。採集した堆積物の表層から深さ1cmまでをシリコン製薬さじで取り分け、分析試料とした。含泥率は亀丸ら(2000)にしたがい、硫化物量は乾燥重量1gの堆積物に含まれる酸揮発性硫化物(AVS: acid volatile sulfide)として検知管法を用いて測定した。

## 3. 塩分と表層堆積物の分布特性

### (1) 塩分の分布

#### a) 河川流量の少ない状態(渇水時)

満潮時における表層の塩分は、最も河口に近い地点(緑川河口から北西に4kmおよび白川河口から西に3.5km地点)において、河川からの流入があるのにもかかわらず、33.0以上である(図-2)。逆に、唐人川河口から南西に3kmの地点では、31.5~32.0と低い。干潮時には白川沖の値は26.6まで低下する。白川河口から西に7kmの地点でも32.0未満である。この低い値は、この地点から南に6kmまでは追跡できた。この低塩分の沿岸水の分布域の西側の海水の塩分は、33.5以上である。

水深5mにおける塩分は、満潮時には緑川河口沖で33.0、白川沖で32.5、唐人川沖で31.5と、北に向かって低下する。干潮時の値は、白川沖で32.0であり、低塩分の表層水が分布する海域は、最大で白川河口から10kmまで拡大し、32.5から33.0未満であり、その西側では33.0以上である。

水深10mにおける塩分は、白川河口沖より南側では33.0以上であり、この河口の北側で32.8~32.9、唐人川河口沖で32.1~32.3と、上層の水と同様に北に向かって低下する。干潮時に表層および水深5mで塩分が低下した海域は、白川河口から最大9kmに達し、同様に低下して33.0未満である。

このことから、外海から流入した高塩分の水塊の影響は、満潮時には、表層では白川沖より南側に、水深10mでは唐人川河口沖まで認められる。干潮時において

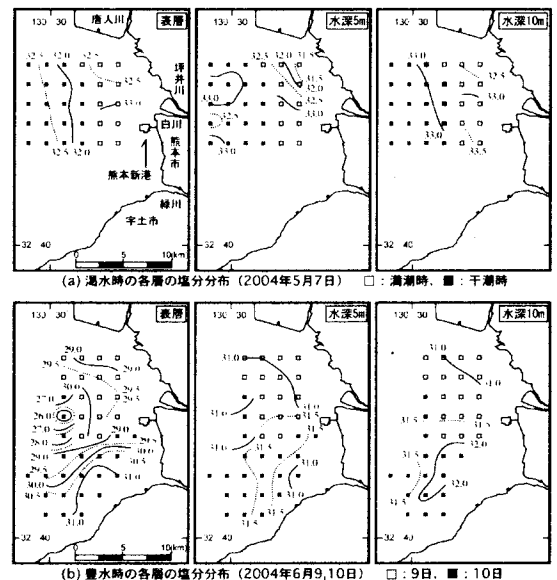


図-2 各層の塩分の分布特性

沿岸水と外海系水の境界は、白川沖10 km, まで西に移動する。この境界は、潟水時における沿岸水の最大の拡散範囲を示している。

#### b) 河川流量が多い状態(豊水時)

熊本新港沖の北側と南側では調査日が異なり、降雨後の経過した時間が異なる。河川流入水の潮汐による拡散を考慮して、北側と南側に分けて記述する。

表層における塩分は、北部では沿岸で低く(29.5未満)、沖に向かって高くなる、白川河口の7 km 沖では30.0以上の値が認められる(図-2)。南側では、緑川河口から宇土市にかけての沿岸で比較的高く(30~31以上)、沖に向かって低下し、熊本新港沖では29.5以下である。それより西側の湾中央部では再び増加し、30をこえる。

水深5 m における塩分は、北側では沿岸で31.0以下、沖に向かって増加し、熊本新港沖では31.5以上になる。南側では熊本新港から緑川にかけての沿岸で31.5以下、緑川河口から6~9 km 沖の間で最も高く(31.5~32.0未満)、その沖で再び低下して31.0以下になる。

北側の水深10 m における塩分の分布は、水深5 m のそれとほぼ一致する。沿岸で31.0以下であり、沖に向かって高くなり、31.5以上に達する。南側では、緑川河口周辺の4地点で32.1前後であり、その沖では32.0未満である。

このように、豊水時の塩分は潟水時のそれと比べて全域で低いが、満潮時に高塩分の外海系水の影響が沿岸でも認められた。とくに、緑川の6~9 km 沖では、満潮時に下層にある高塩分の外海系水が、表層まで上昇する。この結果、南北に帯状(幅3 km)の高塩分の表層水塊が形成され、干潮時に広がった上層の低塩分の水塊を沿岸と湾中央の2つに分断されることが明らかになった。

#### (2) 含泥率の分布

この海域において、含泥率は概ね南北にのびる等高線で表され、白川・緑川沖に発達する干潟の周縁にはほぼ平行する(図-3)。沿岸部(白川河口では沖に3.5 km まで、緑川河口では沖に4 km まで)から採集された堆積物には泥は25%以下しか含まれず、砂質堆積物が分布する。とくに、緑川河口周辺では、泥は極めて少ない(12.6%以下)。

これに対して、水深5 m 以深に分布する大半の堆積物は、50%を超える泥を含む。とくに、含泥率が80%以上の堆積物は、白川河口から南西に3 km の地点から緑川西方に存在する潮目の近傍から得られている。したがって、泥は常に同じ場所において堆積していると判断される。

白川沖においては80%以上の含泥率の西側の境界は、潟水時における干潮時の沿岸水と外海系水の境界に一致する。豊水時の水質調査を行った緑川沖においては、高

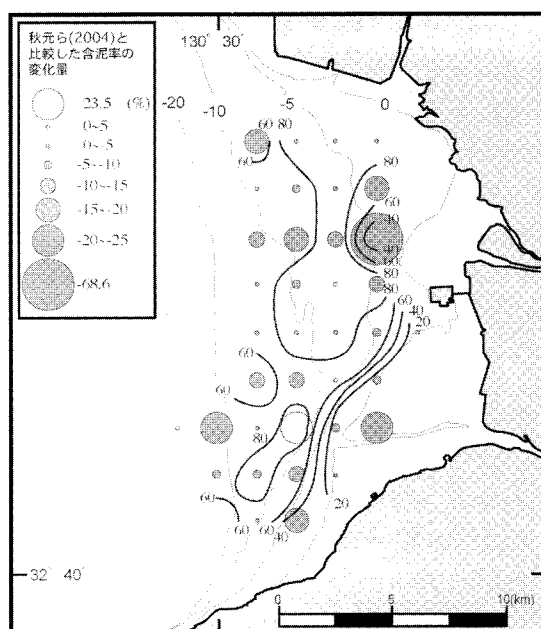


図-3 熊本市沖の含泥率の分布 (%)

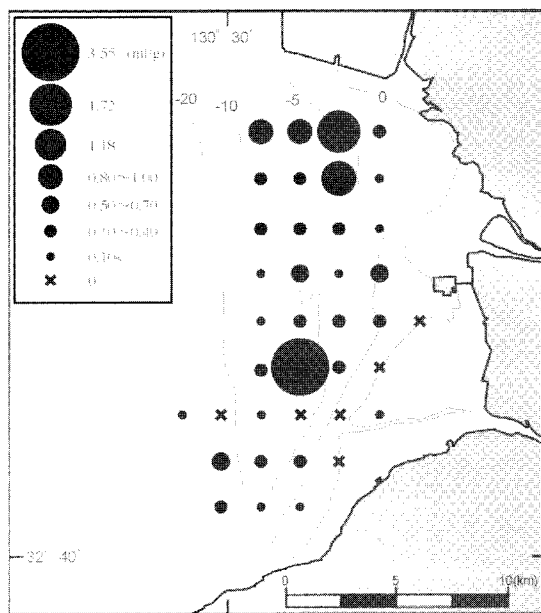


図-4 熊本市沖の堆積物中の酸揮発性硫化物の分布

い含泥率の堆積物の分布は満潮時の高塩分水のそれと重なる。

#### (3) 酸揮発性硫化物量の分布

秋元(2004)は強い硫化水素臭を伴う泥を報告していたが、本調査では認められなかった。酸揮発性硫化物は、緑川河口周辺の6試料を除く32試料に認められた(図-4)。乾燥重量1 g の堆積物中の含有量が0.4 ml を超える5

つの試料群が、認められた。それらは、白川河口の西 3 km の地点から南南西に緑川沖にかけて、線状に分布する。この分布は高い含泥率の試料のそれと良く一致する。渇水時、豊水時に関わらず、潮目には目視によっても浮遊物が集積しているのが認められる。このことから、近傍の試料で値が高いことは、泥とともに沈降した有機物に起因して硫化水素が発生していることを示唆している。

また、高濃度の試料は、白川河口から西に 3 km の地点 (1.7 ml/g) および緑川河口から西北西に 7 km の地点 (3.6 ml/g) から得られた。高濃度の硫化物を含む試料の点状の分布は、潮目において局所的に有機物を濃集させる渦流の存在が予想される。

#### (4) シミュレーションによる潮汐流動の特性

熊本沖の潮汐流動について、2次元の数値シミュレーション(柿木ら, 2001)によると、潮汐残差流は、河川出水豊水時には熊本沖で循環流を形成する複雑な流れを呈し、最大流量時には河口から沖方向に放射状の強い流れが生じ河川流入水の影響が顕著であるとしている。ここでは更に、3次元流動モデル(POM-2k)を用いて熊本沖の潮汐流動特性を調べた。計算領域は八代海を含む、北緯 $32^{\circ}\sim 33^{\circ}10'$ 、東経 $129^{\circ}50'\sim 130^{\circ}40'$ の広範囲で、格子間隔400 m、水深方向6分割で、主要4分潮の潮汐を入力した。なおプログラムは干潟の干出・水没を再現できるよう改良したものである。図-5(1)は、熊本港沖の残差流(線流量)を表している。熊本側では北向きの流れが形成され、逆に島原側では南向きの流れが形成されてい

る。

図中の開いをほどこした海域で残差流速が小さく循環が存在しており、潮目が形成されやすい海域であると考えられる。また、図-5(2)は図-5(1)に示した断面での鉛直方向の残差流である A-B 断面においてほぼ全域で微小ではあるものの北向きの流れが卓越している一方、上層では周辺の海域と同様に北向きの流れが卓越しているのに対し、水深20 m 以上の下層においては南向きの流れが卓越している。また、C-D 断面の残差流から、熊本地先約10 km の海域において大きな鉛直循環流が形成されていることが分かる。

### 4. 熊本沖の水塊構造と底質特性の考察およびまとめ

#### (1) 水塊構造

低塩分の沿岸水の拡散範囲を議論するために、豊水時の大潮であった2002年6月10日と11日に調査された干潮時の水質資料(田中ら, 2004)と比較した。田中ら(2004)によると、豊水時の干潮における沿岸水塊と外海系水塊との境界の分布は、白川沖では本研究の渇水時におけるそれと類似していた。したがって、白川沖では渇水時と豊水時を問わず、常に沿岸水塊と外海系水塊との境界が同じ場所に存在する。

一方、緑川沖では、豊水時において干潮時に低塩分の沿岸水が広がり、満潮時に高塩分の外海系水が表層まで上昇して沿岸水塊を東西に2分している。渇水時には明

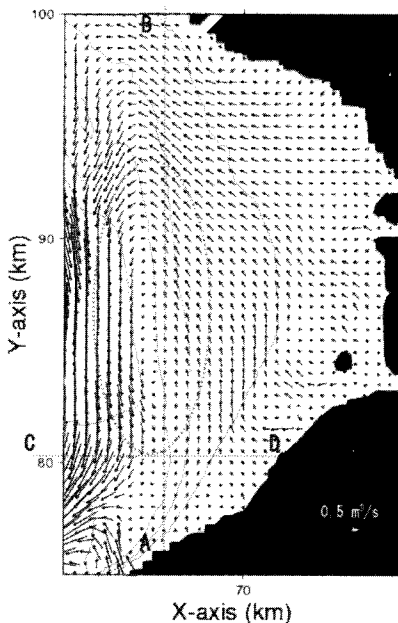


図-5(1) 残差流(線流量)

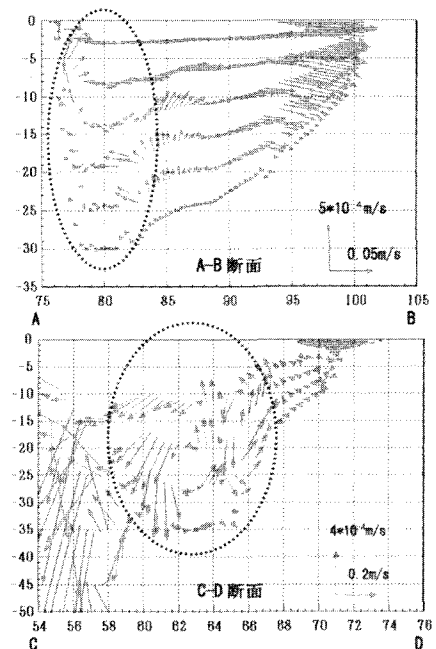


図-5(2) 鉛直断面での残差流

際な水塊の境界が分布せず、熊本新港沖に認められる。これは、緑川から北に向かって塩分が低下することから、緑川から河川水に由来する沿岸水が、流入してきた外海系水によって北に移動させられるためと推定される。

このように白川沖と緑川沖で水塊の分布と挙動が異なるため、沿岸水中に懸濁していた有機物および泥粒子が海底に沈降する場所が異なることが明確になった。白川沖における沈降の場所は、渇水時と豊水時に無関係に、干潮時に位置する沿岸水と外海系水の境界である。一方、緑川沖におけるそれは、豊水時に沿岸水を2分するように表層まで上昇する外海系水との境界である。

## (2) 底質

表層堆積物の含泥率は、白川沖を除いて、木下ら(1980)および秋元ら(2004)と類似の分布を示す。しかしながら、後者の値と比較すると、最近の1~2年間に多くの地点で減少している。例えば、2002年から2003年にかけては90%以上であり、底質が泥化していた(秋元ら, 2004)。本研究では、沿岸において25.2%であり、秋元ら(2004)に比べて68%も低い。また、その沖でも70%以上ではあるが、約15%減少している。一方、1979年9~10月にも沿岸から沖にむかって東西に30~50%の低い値が連続している(木下ら, 1980)。したがって、白川沖では、含泥率は経年変化しやすいことが認められた。

白川に分布する干潟について、地形変化(柿木ら, 2004)ならびに底質の浸食・再堆積(栗山ら, 2003)が報告されていることから、白川沖では泥の含有量が変化しやすいと判断される。

佐藤・松田(2002)は、熊本市沖において、泥粒子が底層の渦流によって集積すると報告している。しかし、海底への泥粒子と有機物の分布は、含泥率、硫化物および水塊の境界のそれぞれの分布は互いに良く類似していることから、沿岸水と外海系水の3次元の分布によって決定されると推定される。

## (3) 潮汐流動特性

熊本沖の海域では、水平および鉛直断面に循環流が形成されており、大出水時には、河川からのフラッシュが卓越するという複雑な流況特性にある。この循環流の存在する海域は海水と低塩分水の境界(潮目)と一致しており、表層の潮目を含む沿岸水の流動特性と有機物が吸着しやすい粘土およびシルト粒子の挙動とが極めて密接に関連していることなど重要な知見が得られた。

## 5. おわりに

今回の調査には、熊本大学所属の船舶「ドルフィンⅡ」ならびに「しらぬひ」使用し、熊本大学の永田紘樹氏、市丸祐美氏、宮口美香氏、山口弘幸氏、古島 旭氏

に調査に協力していただいた。本研究の一部に、平成14~17年度文部省科学研究費補助金基盤研究(A)(2):「有明海干潟環境の回復・維持方策に関する研究」(代表 熊本大学 滝川 清)を使用した。記して、謝意を表します。

## 参考文献

- 秋元和實・滝川 清・島崎英行・鳥井真之・長谷義隆・松田博貴・小松俊文・本座栄一・田中正和・大久保功史・筑紫健一・松岡数充・近藤 寛(2004):「がらかぶ」が見た有明海の風景—環境変化をとらえるための表層堆積物データベース—, 熊本大学沿岸域環境科学教育研究センター, NPO みらい有明・不知火。
- 井上尚文(1992):第21章 有明海 II 物理, 日本海洋学会沿岸海洋研究部会(編) 日本全国沿岸海洋誌, 東海大学出版会, pp. 831-845。
- 柿木哲也・滝川 清・山田文彦・西山大輔(2001):熊本県沿岸海域における潮流場・拡散場への河川流入の影響, 海岸工学論文集, 第48巻, pp. 636-640。
- 柿木哲也・滝川 清・山田文彦・木下栄一郎・外村隆臣(2004):干潟地形変化数値シミュレーション解析, 平成13年度~平成15年度科学研究費補助金(基盤研究(A)(2))「有明・八代海域における高潮ハザードマップ形成と干潟環境変化予測システムの構築」研究成果報告書, pp. 165-185。
- 鎌田泰彦(1967):有明海の海底堆積物, 長崎大学教育学部自然科学研究報告, 第18巻, pp. 71-82。
- 亀丸文秀・藤田和彦・秋元和實・長谷川四郎(2000):第II部各論, II-1 微化石, 4. 動物, 4-1. 有孔虫, 現生底生有孔虫, 化石研究会編, 化石の研究法 採集から最新の解析法まで, 共立出版, pp. 67-69。
- 木下泰正・有田正史・小野寺公兄・大嶋和雄・松元英二・西村清和・横田節哉(1980):61-2 有明海および周辺海域の堆積物, 通商産業省工業技術院地質調査所公害特別研究報告書(環境特研), 第61巻, pp. 29-67。
- 栗山善昭・滝川 清・榎岡光廣・野村 茂・橋本孝治・柴田貴徳(2003):熊本市白川河口における土砂収支の検討, 海岸工学論文集, 第50巻, pp. 556-560。
- 佐藤聡美・松田博貴(2003):有明海緑川河口付近の堆積過程, 熊本大学理学部紀要(地球科学), 第17巻 第2号, pp. 1-14。
- 滝川 清・西山大輔・山田文彦(2002):有明海の熊本県沿岸域における流況・物質拡散特性, 平成10~13年度科学研究費補助金(基盤研究(A)(2))「有明・八代海沿岸域の自然環境評価と環境共生型社会基盤整備に関する研究」研究成果報告書, pp. 44-61。
- 田中正和・島崎英行・長谷義隆・松田博貴・小松俊文・小田真優子・大久保功史・平城兼寿・秋元和實(2004):九州西部島原湾の春季の水塊分布, 熊本大学理学部紀要(地球科学), 第18巻 第1号, pp. 1-9。
- 塚脇真二・松田博貴・長谷義隆・秋元和實・中原功一郎・浅野いずみ・小沢広和・岡村 真・古田徳仁・堂満華子・尾田太良・滝川 清(2002):海底柱状試料に基づく有明海中央部における過去1万年間の環境変遷史, 熊本大学理学部紀要(地球科学), 第17巻 第1号, pp. 1-33。
- 吉村直晃(2004):有明海における貧酸素水塊の挙動と底泥からの栄養塩の溶出, 熊本県水産研究センターニュース, pp. 8-9。