

研究種目：基盤研究（C）  
 研究期間：2007～2008  
 課題番号：19560514  
 研究課題名（和文） 干潟を含む極浅海域での大気 - 波浪 - 海洋 - 底質輸送結合モデルの構築と深化  
 研究課題名（英文） Sediment Budget based on the mass of silt and clay on Intertidal Flat Adjacent to River Mouth  
 研究代表者  
 山田 文彦（YAMADA FUMIHIKO）  
 熊本大学・大学院自然科学研究科・教授  
 研究者番号：60264280

研究成果の概要：本研究では，光波測距儀による地盤高測量と底質浮遊輸送フラックス計測を併用し，シルト・粘土の質量に基づいた土砂収支法を提案するとともに，熊本県白川河口域の潮間帯干潟上での土砂収支に適用した．平常時には潮間帯干潟は堆積傾向を示し，河川流入シルト量の 6 割が地形変化に寄与する．出水直後では干潟地形は侵食傾向を示す．以上より，出水時に河川から流入したシルト・粘土は一旦沖まで流出するが，平常時に潮汐によって沖側から運ばれ，潮間帯に再流入するプロセスが示唆された．

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2008 年度	1,500,000	450,000	1,950,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・水工水理学

キーワード：干潟・底質移動・地形変化・土砂収支

#### 1. 研究開始当初の背景

潮間帯干潟上での土砂動態（底質輸送・地形変化・土砂収支）は，そこに生息する二枚貝類の生存に影響を及ぼす重要因子と考えられている（Tamakiら,2008）。この土砂動態のメカニズムを解明し，干潟生産力の向上を行うことは，漁業資源としてだけでなく，沿岸域の環境保全・再生を実現する上で重要である（水産庁,2008）。また現在，地球温暖化の

影響により，沿岸域においては海面上昇や高潮・高波による災害リスクの増大等も懸念されている。特に，内湾に位置する干潟は種々の外力変動の影響を受けて容易に変形・消失すると考えられており，潮間帯干潟上での土砂動態のメカニズムを把握することは沿岸防災計画においても極めて重要な研究課題のひとつと位置づけられる。

## 2. 研究の目的

本研究では、トータルステーションを用いた直接地盤高測量と潮間帯干潟上での底質の浮遊輸送フラックス計測を併用し、浮遊輸送によるシルト・粘土の質量に基づいた土砂収支法を提案する。また、本提案手法を熊本県白川河口域の潮間帯干潟上での土砂収支に適用し、河川出水量と土砂動態の関係などについて検討した。

## 3. 研究の方法

### (1) 現地観測

観測は図-1に示す熊本県白川河口域の潮間帯干潟上で実施した。

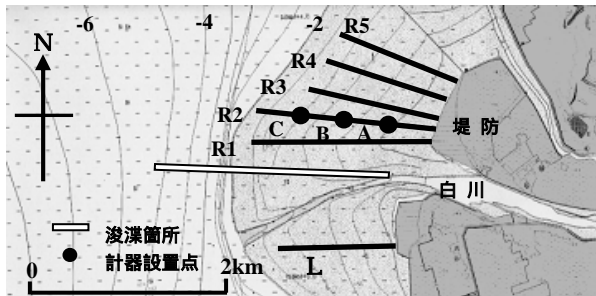


図-1 現地観測場所（白川河口域）

対象領域には6本の観測ラインを設置しており、左岸Lラインと右岸R3ラインは2000年12月から、右岸R3以外の4ラインは2004年5月から毎月干潟地盤高の現地観測を実施し、現在も継続中である。砂浜に比較して干潟の地形変化量は小さいこと、および計測時間が干潮時に限られるため、トータルステーション(SOKIA SET3A)を用いて地盤高の計測を行った。測定間隔はL、R3が50m間隔、その他の測線は80m間隔であり、測線の延長は場所によって異なるが、それぞれ大潮干潮時の汀線付近(2.5~1.5km)までとした。

底質の浮遊輸送フラックス計測のため、水位・流速・濁度・塩分の計測機器をR2ライン上の堤防から沖に約400mのA点、約1,040mのB点および約1,520mのC点の3ヶ所に設置した。計測手法の詳細はYamadaら(2009)に詳しい。B点での計測は2004年7月から開始し、観測期間中の参照点として常時連続計測を継続しており、これまでに約1900潮汐分の時系列を取得した。A点は2005年10月~2006年9月まで、C点は2006年10月~2007年3月までの期間でデータを取得した。B点以外の2点は同時期の計測ではないため、山田ら(2007)が提案した潮汐位相平均手法を用いてA・C点の計測期間毎にB点の平均的な浮遊輸送フラックスを算出し、比較した。その結果、1年ほど連続計測を行って得られる平均的な

流動・浮遊場にはほとんど差が見られなかった。岸沖方向の干潟地形の時系列変化を鉛直変位パラメータとして図-2に示す。

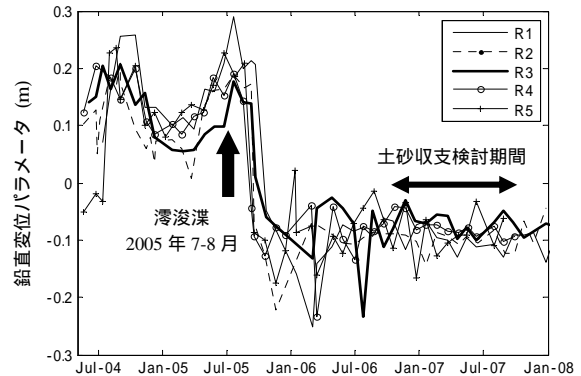


図-2 干潟岸沖断面の鉛直変位パラメータの時系列

このパラメータは平均断面との偏差を岸沖方向に積分したものであり、堆積の場合(+), 侵食の場合(-)の値となる(Yamadaら, 2009)。2005年9月頃に干潟が急激に侵食(50cm程度)されているが、その期間に異常な外力変動は存在しないため、人的要因を含めて調査したところ、2005年7-8月に白川河口で86,000<sup>m</sup>3(延長2.4km, 幅40m)の浚渫が実施されていた(図-1)。この量は白川河口テラスに堆積する年間(2003年度)の土砂量にほぼ等しい(末次ら, 2005)。また、2008年7月にも同じ場所で約6,000<sup>m</sup>3の浚渫が実施されていたので、人的インパクトの影響を極力押さえ自然外力下での土砂動態を把握するために、今回は2006年10月~2007年10月の期間で検討を行った。潮汐に伴う底質の浮遊輸送フラックス(kg/m/s)について、観測した水位・流速・濁度の時系列データより検討した。ここでは流速・濁度に関しては、水深方向に一樣な分布を仮定し、潮汐(水没時間)毎に上げ潮・下げ潮期間で浮遊輸送フラックスを積分することで、単位幅あたりの浮遊輸送量(kg/m)として、その時間変動を求めた。図-3はA・B・C点における1ヶ月ごとに累計した浮遊輸送量の南北(沿岸)成分を示す。(+)値は北向・(-)値は南向の移動を表す。中潮間帯下部に位置するB点では上げ潮・下げ潮時の浮遊移動の卓越方向に相違が見られるものの、netの移動量としては3点ともに南向(白川河口側)が卓越している。また、その移動量は最大で2.0×10<sup>4</sup>(kg/m)程度と算定され、流速・濁度の水深一樣分布の仮定などを考慮すると、場所による移動量の相違はあまり大きくないと判断される。

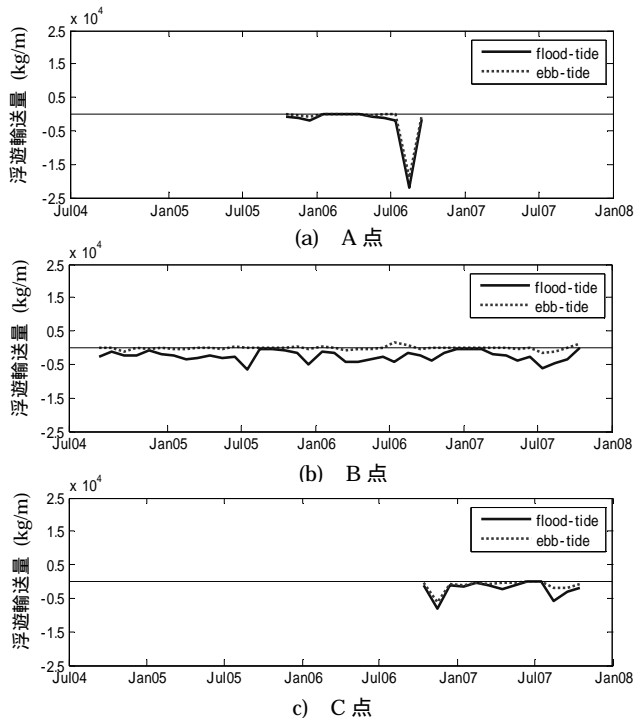


図-3 月累計した浮遊輸送量（南北成分）の時系列

次に1潮汐間の平均的な底質の浮遊輸送パターンを検討するために、潮汐位相平均手法で求めた3地点の浮遊輸送フラックスの時空間分布をベクトル表示したものを図-4に示す。

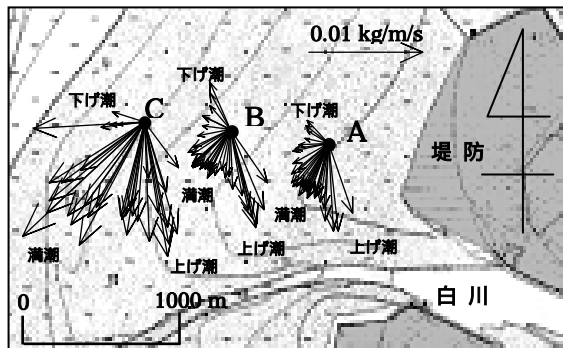


図-4 底質の浮遊輸送フラックスの時空間分布

上げ潮・下げ潮時は地形の等高線に直交する底質輸送が生じ、満潮時にも白川側への有意な底質輸送が存在し、1潮汐間では白川向きの輸送が卓越することがわかった。これは、浮遊輸送に対して上げ潮・下げ潮時は局地的な地形勾配に応じた潮汐運動が支配的であるが、満潮時には白川の河川流出や水位勾配の影響を受けるためと考えられる。なお、図-3と比較してC点の浮遊輸送フラックスが大きくなっているのは、潮汐位相平均を計算する際に日潮不等の影響で水没時間が10時間を越えるデータを省いたためである。A・B点では水没時間全体の約10%以下であるのに対し

て、C点では水没時間全体の約56%がこれに相当する。C点で省かれたデータの平均水没時間は29.6時間であった。

(2)シルト・粘土の質量に基づく土砂収支法  
本研究では、直接地盤高測量と潮間帯干潟上での底質の浮遊輸送フラックスの連続計測を併用し、シルト・粘土の質量に基づいた土砂収支法を検討する。そのため、解析領域を図-5のように、浮遊輸送フラックスを計測するR2測線を境として南北に2分割し、それぞれの境界上で流入・流出するシルト・粘土の質量を定義した。

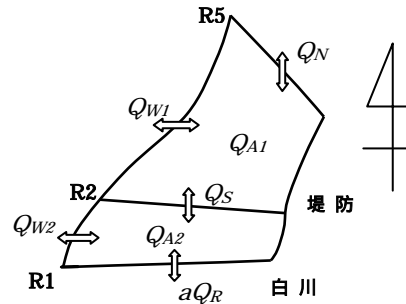


図-5 河口潮間帯干潟上での土砂収支の概念図

2つの領域での土砂収支は式(1)、(2)に基づき評価する。

$$\text{北側領域: } Q_{A1} = Q_N + Q_{W1} + Q_S \quad (1)$$

$$\text{南側領域: } Q_{A2} = Q_S + Q_{W2} + a \cdot Q_R \quad (2)$$

ここで、 $Q_{A1}$ 、 $Q_{A2}$ はそれぞれR5・R2測線およびR2・R1測線で囲まれた領域内のシルト・粘土の質量変化量(kg)である。また、 $Q_N$ は北側境界(R5測線)より流入・流出するシルト・粘土の質量(kg)、 $Q_{W1}$ 、 $Q_{W2}$ は西側(沖)境界より流入・流出するシルト・粘土の質量(kg)、 $Q_S$ はR2測線より流入・流出するシルト・粘土の質量(kg)、 $Q_R$ は河川から流入するシルト・粘土の質量(kg)、 $a$ はその潮間帯干潟の地形変化寄与率である。なお、東側(岸)境界では、堤防が全域に建設されており、シルト・粘土の流入・流出を考慮する必要はない。本検討では、 $Q_{A1}$ 、 $Q_{A2}$ は直接地盤高測量結果より、また、 $Q_{W1}$ 、 $Q_S$ は浮遊輸送フラックス計測結果より算定し、既知量として取り扱うので、未知量は、 $Q_N$ 、 $Q_{W2}$ および $a$ の3つとなる。

解析領域内の土砂体積変化量の算出

R1～R5測線上の地盤高測点の位置座標から、近接4点間の重心を求め、境界以外では測点を包含するように矩形小領域に分割する(図-6)。小領域内で地盤高は一定とし、2006年10月(基準月)からの各小領域の土砂体積変化量を求め、それを月ごとに南北2つの領域毎に総和する事で土砂体積量の時系列を算出

する。なお、解析領域の大きさは、年間を通じて大潮干潮時に干出する地点のみが対象であり、 $I_N=748\text{m}$ 、 $I_W=1,380\text{m}$ 、 $I_{W2}=306\text{m}$ 、 $I_S=1,440\text{m}$ 、 $I_{E1}=617\text{m}$ 、 $I_{E2}=145\text{m}$ 、また、2分割した領域の面積は、北側からそれぞれ  $0.76\text{ km}^2$ 、 $0.28\text{ km}^2$  である。

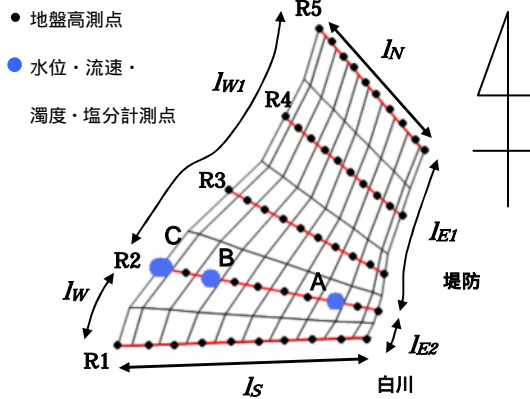


図-6 土砂体積の変化量算定の解析領域分割図

シルト・粘土の質量変化量 ( $Q_{A1}$ ,  $Q_{A2}$ ) の算定  
底質の体積は、空隙と砂およびシルト・粘土の線形和で表現できると考え、シルト・粘土のかさ密度を宇野ら(2002)、中川ら(2004)の白川河口での観測結果を参考に  $1.3\text{ g/cm}^3$ 、存在比を 30%として、南北2つの領域毎にシルト・粘土の月累計の質量変化量  $Q_{A1}$ ,  $Q_{A2}$ (kg) を求める。

浮遊輸送フラックス計測に基づく ( $Q_{W1}$ ,  $Q_S$ ) の算定

沖側境界および R2 測線を通過して流入・流出するシルト・粘土の質量 ( $Q_{W1}$ ,  $Q_S$ ) は、B, C 点で 1 潮汐毎に積分した浮遊輸送フラックス ( $\text{kg/m}$ ) に対して、シルト・粘土は境界から一様に流入すると仮定し、その境界線の延長を掛け合わせることで、質量に換算し、月ごとに累計する。

白川から流入するシルト・粘土の質量 ( $Q_R$ ) の算定

栗山・橋本(2004)と同様に白川の河川流量に比例した経験式(3)を使用し、まず、流入するシルト・粘土の体積量を算定した。

$$Q_{silt} = 3.482 \times 10^{-7} Q_{river}^{2.165} \quad (3)$$

ここで、 $Q_{silt}$  は白川から流入するシルト・粘土の体積量 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )、 $Q_{river}$  は白川の流量 ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) である。 $Q_{silt}$  にシルト・粘土のかさ密度  $1.3\text{ g/cm}^3$  を乗じ、質量に換算し、月ごとに累計する事で  $Q_R$ (kg/月) を算定する。図-7 は 2004 年 4 月 ~ 2008 年 1 月の白川の河川流量と  $Q_R$  の時系列を示す。白川の計画流量は  $2,000\text{m}^3/\text{s}$  であるが、今回の検討期間中の河川出水は最大で  $1,500\text{m}^3/\text{s}$  程度であり、最近 4 年間では最

大である。ただし、流入したシルト・粘土の質量で考えると 2006 年度の影響の方が大きい傾向を示す。

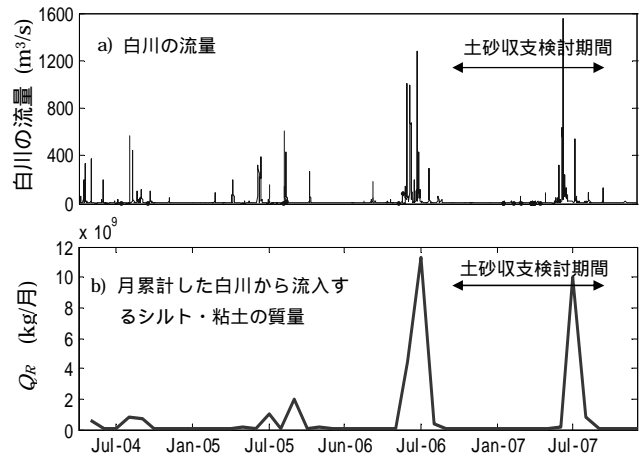


図-7 白川の流量と  $Q_R$  の時系列

未知量 ( $Q_N$ ,  $Q_{W2}$  および  $a$ ) の推定

(1) 式中の  $Q_N$  に関しては、それ以外の項はすべて既知量となるため、各項間の差分より求める。また、(2) 式中の  $Q_{W2}$  および  $a$  については、栗山・橋本(2004)を参考に、 $Q_{A2}$  と  $-Q_S$  の時系列データを用いて、最小自乗法を適用し、両変数を決定する。

#### 4. 研究成果

##### (1) 解析結果

図-8 は北側領域での月ごとの土砂収支の算定結果を示す。同図は各領域でのシルト・粘土の質量変動量および各境界を通して流入 (+), 流出 (-) するシルト・粘土の質量を時系列で表している。北側領域の地盤高は、2006 年 12 月より減少傾向にあるものの、区間全体では、北側境界より流入分 ( $Q_N$ ) が卓越し、堆積状態を維持している。一方、南側領域の地盤高はほぼ平衡状態にある (図-9)。なお、 $Q_{W2}$  と  $a$  については前述の通り、 $Q_{A2}$  と  $Q_S$  の時系列データより最小自乗法により決定する。北側領域において、河川出水や平均潮位上昇が顕著な 7-9 月に北から河口に向かう土砂移動 ( $Q_N$ ) が卓越する傾向が見られるが、詳細なメカニズムは現状では不明である。

次に、河川出水時と平常時での平均的な土砂収支パターンを検討するために、図-8, 9 の時系列を 2 つの時期に分け、それぞれの期間で平均し比較を行った。平常時には北側境界において北から河口側に向かう流入量  $Q_N$  が卓越し、北側領域の潮間帯干潟は堆積傾向を示す。

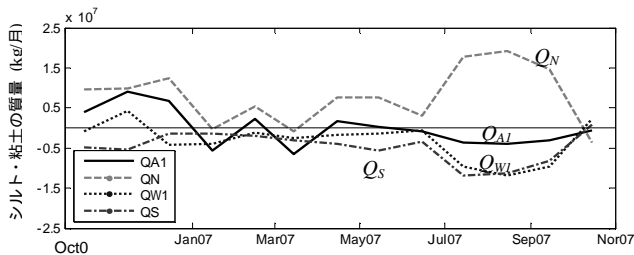


図-8  $Q_{A1}$ ,  $Q_N$ ,  $Q_{W1}$ ,  $Q_S$ の時系列 (北側領域)

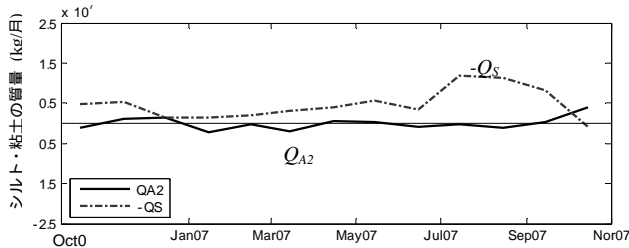


図-9  $Q_{A2}$ ,  $-Q_S$ の時系列 (南側領域)

南側領域では、河川から流入するシルト・粘土の約 14% ( $a=0.14$ )が干潟地形変化に寄与し、堆積傾向を示すが、北側領域 ( $Q_{W1}$ ) よりも沖側への流出量 ( $Q_{W2}$ ) は 3 倍程度大きい。一方、出水時は、北側領域において  $Q_N$ ,  $Q_S$  はともに北から河口側へ向かって 2~3 倍程度増加するが、沖側へ流出する  $Q_{W1}$  が 4 倍増加するため、潮間帯干潟全域で侵食傾向を示す。なお、出水時は  $Q_{W1}$ ,  $Q_{W2}$  はほぼ等しい。以上より、出水時に河川から流入したシルト・粘土は一旦潮下帯などに堆積し、平常時に潮汐の影響で北側から潮間帯干潟に流入する循環パターンの存在が示唆された。

また、出水時には南側領域からシルト・粘土が河口側へ流出するが、その理由について考察する。図-10 は今回の対象期間中に生じた河川出水と潮位の時系列を示す。



図-10 潮位と河川出水の時系列(2007年7月1日~10日)

2007年7月7日の出水のピーク流量は約  $1500\text{m}^3/\text{s}$  であり、発生時刻は下げ潮~干潮時刻と重なっている。そのため、河口付近のシルト・粘土は下げ潮時の潮流(沖向き)と河川出水に伴う沖向きの流速の影響を受けた結

果と考えられる。よって、上げ潮~満潮時刻に河川出水が重なる場合の土砂動態についても今後計測によって把握し、土砂収支の精度向上を行う必要がある。

## (2) 結論

河口潮間帯干潟において、直接地盤高測量と底質の浮遊輸送フラックスの連続計測を行い、浮遊輸送に着目し、シルト・粘土の質量に基づいた土砂収支の検討を行った。平常時には北側領域において北から河口側に向かう流入量  $Q_N$  が卓越し、北側領域の潮間帯干潟は堆積傾向を示す。また、南側領域では、河川から流入するシルト・粘土の約 14% が南側領域の干潟地形変化に寄与し、同じく堆積傾向を示す。一方、出水時は、北~河口側に向かう量よりも多くのシルト・粘土量が沖側に流出し、潮間帯干潟は全域で侵食傾向を示す。今後は、土砂収支の精度向上のために、河川出水と潮位の位相(タイミング)について検討する予定である。また、平均的に北側から河口側に向かう土砂移動のメカニズムや掃流輸送の寄与についても、数値解析を用いて検討する必要がある。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 11 件)

Payo, A., Kobayashi, N., Munoz-Peres, J., Yamada, F.

Scarping predictability of sandy beach in a multidirectional wave basin, *Ciencia Marina*, Vol. 34, pp.45-54, 2008, 査読有

Tamaki, A., Nakaoka, A., Maehara, H., Yamada, F.

Spatial partitioning between species of the phytoplankton-feeding guild on an estuarine intertidal sandflat and its implication on habitat carrying capacity, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Vol. 78, pp.727-738, 2008, 査読有

Tanaka, K., Kamohara, S., Yamada, F., Ohmoto, T., Sugio, S.

Orographical effects on heavy rainfall by Typhoon 0514 (NABI), *Natural Hazard Review*, Vol. 9, pp.190-198, 2008, 査読有

山田文彦, 坂西由弘, 白川雄一郎, 穴井広和, 外村隆臣, 小林信久  
潮間帯干潟上の岸沖方向の底質輸送特性とその輸送概念モデルの提案, 海岸工学論文集, Vol. 55, pp.461-465, 2008, 査読有  
山田文彦, 柴田康晴, 田端優憲, 玉置昭夫

潮間帯干潟上の砂漣の時空間変動特性と底質内部の保水領域の季節変動特性, 海岸工学論文集, Vol.55, pp.791-795, 2008, 査読有

外村隆臣, 江島隆晃, 今村 格, 津島了, 辻本剛三, 由比政年, 沖和哉, 山田文彦 ダブルバリア型浮消波堤の波浪減衰メカニズムとその現地有効性の検証, 海岸工学論文集, Vol.55, pp.896-900, 2008, 査読有

西敬浩, Charles Lemckert, Andores Payo, 外村隆臣, 山本浩一, 濱田孝治, 山田文彦 ラグランジュ・ツイを用いた極浅海域での浮遊輸送特性の3次元計測, 海岸工学論文集, Vol.55, pp.1441-1445, 2008, 査読有

辻本剛三, 山田文彦, 柿木哲哉 粒子画像を用いた底質粒径の計測法の妥当性に関する研究, 海洋開発論文集, Vol.24, pp.1207-1212, 2008, 査読有

山本浩一, 速水祐一, 笠置尚史 濱田孝治, 吉野健児, 山田文彦 有明海湾奥部における懸濁物質濃度変動特性に関する研究, 海洋開発論文集, Vol.24, pp.1081-1086, 2008, 査読有

山田文彦, 柿本竜治, 山本幸, 迫大介, 岡裕二, 大本照憲

水害に対する地域防災力向上を目指したリスクコミュニケーションの実践的研究, 自然災害科学, Vol.27, pp.23-24, 2008, 査読有

Tsujimoto, G., Yamada, F., Kakimoto, R. Time-space Variation and Spectral Evolution of Sandy Beach Profiles under Tsunami and Regular Waves, *Proc. of 18th International Offshore and Polar Engineering Conference*, pp.523-527, 2008, 査読有

[学会発表](計4件)

蒲原さやか, 池田有希, 山田文彦, 辻本剛三 海浜断面変形に伴う底質表面の粒度分布と底質内部密度の時空間変動, 平成20年度土木学会西部支部研究発表会, 九州大学, 2009年3月7日

穴井広和, 山田文彦, 外村隆臣: 潮間帯干潟地形の岸沖方向の底質輸送・地形変化に関する数値計算, 平成20年度土木学会西部支部研究発表会, 九州大学, 2009年3月7日

Yamada, F., Kobayashi, N., Sakanishi, Y., Andres, P.: Suspended sediment fluxes due to tidal and waves over meso-tidal flat, *Proc. of 31th International Conference on Coastal Engineering*, 2008年9月3日

Andres, P., Kobayashi, N., Munoz-Perez, J., Yamada, F.: Suspended sediment transport inside and outside the surf zone, *Proc. of 31th International Conference on Coastal Engineering*, 2008年9月3日  
2008

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

山田 文彦 (YAMADA FUMIHIKO)  
熊本大学・大学院自然科学研究科・教授  
研究者番号: 60264280

### (2) 連携研究者

間瀬 肇 (MASE HAJIME) (2007年度は研究分担者)

京都大学・防災研究所・教授  
研究者番号: 30127138

由比 政年 (YUHI MASATOSHI) (2007年度は研究分担者)

金沢大学・大学院自然科学研究科・教授  
研究者番号: 20262553

田中 健路 (TANAKA KENJI) (2007年度は研究分担者)

熊本大学・大学院自然科学研究科・助教  
研究者番号: 30315288