

皆生海岸漂砂系から美保湾への年間土砂移動量の推定

井上卓彦* ・奥村 学** ・原口 強***
岩本直哉**** ・天野敦子***** ・井内美郎*****

長期的な海岸地形保全には、海岸流砂系全体の土砂動態の解明と理解が必要である。本研究では、皆生海岸において、沖合の美保湾で表層堆積物と柱状試料を採取し、粒度分析と鉛-210法堆積速度測定を組み合わせ、日野川・皆生海岸から美保湾内への土砂移動量を推定した。底質調査結果から、堆積物は美保湾内にほとんどトラップされ域外への移動はないと判断される。海岸を形成している細粒砂以上の土砂の美保湾内への単位面積当り移動量は泥堆積域で約200 ton/km²/年、湾中央部で約1,800 ton/km²/年となる。これを海域全体に適用すると、皆生海岸漂砂系外の水深 9 m 以深に移動する細粒砂以上の年間土砂量は95,000 ton/年となる。

1. はじめに

皆生海岸は、鳥取県西部米子市から境港市まで延びる砂州、弓ヶ浜半島の日本海側に位置する砂浜海岸である。皆生海岸では、大正時代から海岸侵食が始まり、1971年に着手された離岸堤群が1982年に完成するまで海岸侵食は続き、汀線が最大で300 m 後退したといわれている。

従来、鳥取県西部の皆生海岸では、海岸侵食によって輸送される土砂の多くは沿岸流方向の境港地域の海岸に堆積していると考えられ、現在では境港地域から皆生地域に土砂を人工的に戻す「サンドバイパス工法」が施工されている。

長期的に海岸地形を維持するためには、沿岸流による土砂移動量を正確に見積もる必要があり、これまで日野川河川事務所などにより海岸において様々な調査がなされてきた。しかし、海岸から湾内へ移動する土砂量についてはこれまでほとんど研究がなく、流域全体の土砂収支を見積もる際には、皆生海岸から美保湾内への土砂移動量を明らかにする必要がある。これを解決する手法として堆積物組成と放射年代を組み合わせた研究手法がある。この手法は阿部ら (2003) や福山ら (2003)、三浦ら (2003) によって、これまで環境変動などの定性的な研究に用いられてきた。本研究では、湾内の堆積物粒度組成の中でも、砂州地形を構成している125 μm 以上の砂粒子に注目し、鉛-210法による堆積速度を組み合わせ、年間に皆生海岸漂砂系から美保湾内へ移動・堆積する土砂量を判定することを目的とした。

2. 調査海域概説

調査海域とした皆生海岸沖の美保湾は、北を島根半島、

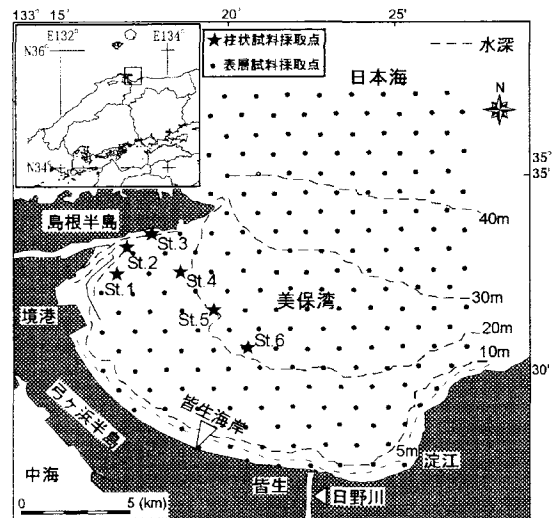


図-1 調査海域の海底地形および採泥点

西を弓ヶ浜半島、南を米子平野、南東を大山の裾野に制限されており、北東に湾口を開いた湾である。海上保安庁 (1992) によれば美保湾の海底地形は水深 0 m から 8 m まで急勾配 (約 2 度) であり、そこから湾口の水深 40 m までは比較的なだらかな勾配 (約 0.15 度) である (図-1)。また砂州から沖に向かって地形勾配および堆積相は水深 9 m で変化し (井上ら, 2004; 原口ら, 2004), 砂州地形は容易に他と区別される。また、砂州を構成する碎屑物の大部分は、125 μm 以上の砂粒子により形成されている (井上ら, 2004)。ここで細砂の中でも特に 125 μm の境界部の土砂が重要になる。そこで本論では堆積学的区分を用い、細砂を、64~125 μm の“極細粒砂”と 125 μm ~250 μm の“細粒砂”, 250 μm より大きな“中粒砂”に区分した。

3. 調査・試料採取方法・分析方法

本研究では、図-1 に示すとおり湾の底質を代表すると考えられる泥質堆積物および砂質堆積物分布域の 6 地

* 学生会員 修(理) 愛媛大学大学院理工学研究科環境科学専攻
** 元・愛媛大学理学部
*** 正会員 博(工) 大阪市立大学助教授大学院理学研究科
**** 修(理) 愛媛大学大学院理工学研究科環境科学専攻
***** 理博 愛媛大学教授沿岸環境科学研究センター

点で柱状採泥を行い、最長約50 cmのコアを計11本得た。さらに、河川および海岸から湾へ輸送された土砂の移動範囲を明らかにするため、湾内および日本海で計196点の表層堆積物を採取・分析した。

(1) 試料採取方法

a) 表層堆積物採取

美保湾から日本海にかけて緯度経度0.5分間隔（日本測地系）で196試料を採取した。試料採取にはスミスマッキンタイヤー式グラブ採泥器を用いた。それぞれの採取試料から表層3 cm程度を分析試料とした。

b) 美保湾柱状試料採取

泥質堆積物分布域では重力落下式コアサンプラー、砂質堆積物分布域では、ダイバーによる柱状試料採取用パイプの押し込みによって試料を採取した。

泥質堆積物分布域では St.1 (9.5 m: 採取水深), St.2 (10.2 m), St.3 (10.7 m) の3点でそれぞれ2本, St.4 (17.5 m) では1本の柱状試料を採取し、砂質堆積物分布域では St.5 (21.5 m), St.6 (20.1 m) の2点でそれぞれ2本の柱状試料を採取した。

採取された柱状試料は、それぞれ頂部から1 cm毎に採取し、分析用試料とした。粒度分析は全採取点の試料で1 cm間隔で行なった。また、砂質堆積物分布域 St.5, St.6と泥質堆積物分布域 St.1で得られたコアの2本のうちの1本を選定し、鉛-210法堆積速度測定用の試料とした。それぞれのコア試料を1 cm毎に分割し、5 cm間隔で分析を行った。

(2) 分析方法

表層堆積物については粒度分析を行い、柱状試料につ

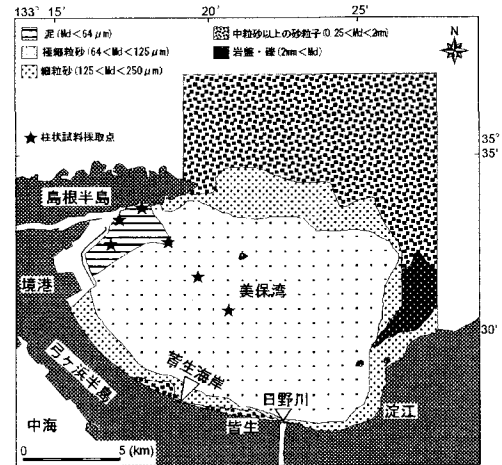


図-2 美保湾底質図および柱状試料採取点
中粒砂以上の砂粒子には細砂粗粒部と粗砂を含む。
(粒度区分は本文参照)

いては粒度分析と鉛-210法堆積速度測定を行なった。

a) 粒度分析

粒度分析は、表層試料についてはふるい分析法を用い、柱状試料についてはレーザー回折・散乱粒度測定法を用いた。

b) ふるい分析法

表層試料の約196試料について、ふるい分け法により粒度分析を行なった。測定手順は以下の通りである。200 g程度を測定用試料とし、恒温乾燥機で一昼夜90度で乾燥、秤量し、0.044 mm (4.5φ) のふるい上で泥の一部を洗い流し、再び恒温乾燥機で一昼夜乾燥させる。

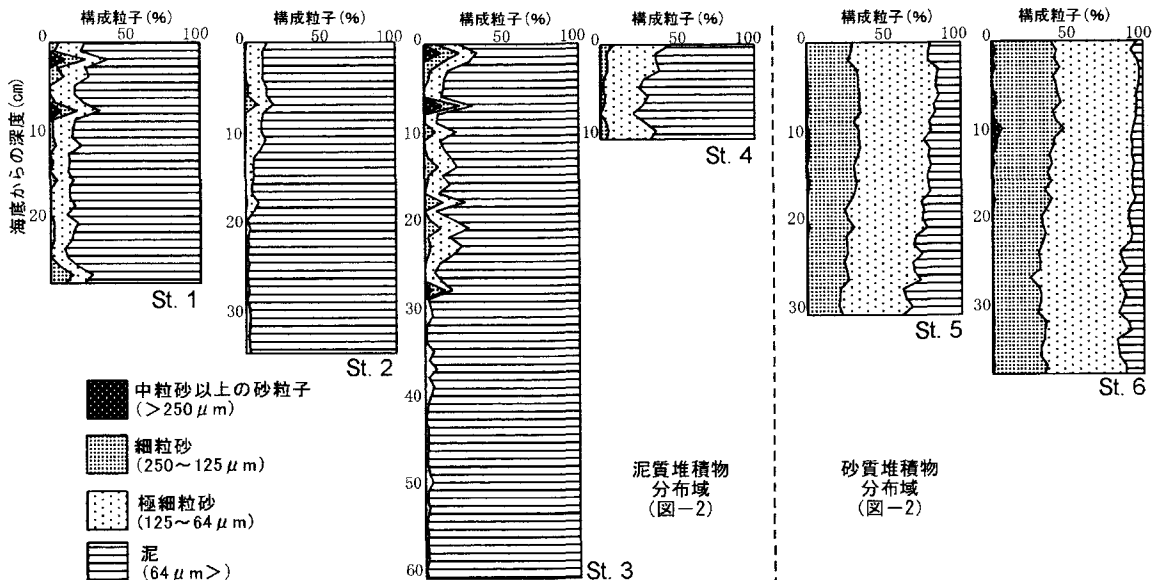


図-3 柱状試料粒度プロファイル (粒度区分については図-2および本文参照)

つぎに乾燥重量を秤量し、8 mm から0.044 mm までふるい分けを実施した。その後、電子天秤で重量を秤量し、粒度組成および中央粒径を求めた(公文・立石, 1998)。

c) レーザー回折・散乱粒度測定法

6本の柱状試料(210試料)について、レーザー回折・散乱粒度測定法により粒度分析を行った。これは柱状試料分割後の試料量が少量で、更に試料が泥分を比較的多く含んでいたためである。分析にはレーザー回折式粒度分布測定装置 SALD2100(島津製作所社製)を用いた。本粒度測定装置の測定範囲は0.03~1,000 μm で、測定時間が短く、リアルタイムで粒度分布を確認でき、さらに、湿式測定も乾式測定も可能であるなどの特徴がある。

(3) 鉛-210法による堆積速度測定

「鉛-210法」は鉛同位体の堆積物中濃度の減衰を利用した堆積速度測定法である。大気中にある鉛-210(^{210}Pb)は、雨滴に取り込まれたり、直接粒子として降下することによって地表に堆積する。この絶対量は場所毎に異なるが、場所毎の年間付加量は一定であったと仮定して、 ^{210}Pb の濃度の減衰状態から堆積速度を推定する。 ^{210}Pb の半減期は約22年であるので、その5倍程度の約100年間の堆積速度測定が可能である(金井ら, 1995)。

本研究では砂質堆積物分布域2本、泥質堆積物分布域1本の計3本のコアにおいて計29試料の分析を実施した。また柱状試料の堆積層の圧密を考慮に入れるため、堆積

速度には、重量堆積速度を用いた。重量堆積速度を求めるために、全試料について含水率を測定し、堆積物粒子密度は2.65 g/cm^3 と仮定した。 γ 線の測定はセイコーEG&G スパースグラフィック MCA(検出器はORTEC 社製ゲルマニウム半導体検出器 GMX25P)により行なった。試料の前処理として測定用容器内を放射平衡状態にするために、容器封入後約1ヶ月保管し、試料の測定時間は約2日間とした。

4. 調査・分析結果と考察

皆生海岸を形成している砂州から沖に向かう地形勾配と堆積相は、水深9 m で変化する。砂州を構成する堆積物は、細粒砂以上の粒子の含有率により容易に区分することができる(井上ら, 2004; 原口ら, 2004)。以下では調査結果を踏まえて極細粒砂より大きな粒子の輸送・堆積について考察を行う。

(1) 表層堆積物(図-2)

美保湾の底質は、沿岸の水深9 m までに細粒砂から粗砂を主とする堆積物が分布し、これより深いところは、中央粒径値で64~125 μm 径前後(極細粒砂)の堆積物が広く分布する。このことから、細粒砂以上の砂粒子の大部分は砂州の沿岸海域に沿って移動していると考えられる。また、境港沖合には泥質堆積物が分布し、流れの減衰が示唆される。ここで泥質堆積物とはシルト~粘土を主とした堆積物である。

一方、島根半島沖の美保湾から日本海側の水深約30 m 以深では粗粒堆積物が堆積しており、美保湾に広く分布している極細粒砂より粗な堆積物が分布している。このことは、音波地層探査を用いた研究(井上ら, 2005)で確認されており、日野川から日本海に向かって現世堆積物の層厚が薄くなり、日本海では前時代の残留堆積物が表層部に露出するとされ、本結果と定性的に一致する。

これらのことから、日野川から供給された土砂は、浮遊形態で日本海へ拡散するものを除いて、多くが美保湾内に堆積され则认为よい。

(2) 美保湾柱状試料(図-3)

a) 泥質堆積物分布域

本海域で細粒砂以上の土砂が認められるようになるのは St. 3 では上部28 cm 以浅からであり、その含有率は約5% 未満である。さらに、全てのコアで上方に粗粒化が認められ、極細粒砂以上の碎屑物の混入が上部へ向かい、より顕著になる。

St. 1 で得られた重量堆積速度は0.44 $\text{g}/\text{cm}^2/\text{年}$ であり(図-4)、湾内への砂州を形成している細粒砂以上の土砂の単位面積当りのフラックスは泥堆積域で約200 $\text{ton}/\text{km}^2/\text{年}$ であると考えられる。またこの堆積速度から求められた粗粒化が始まる年代は1930年代初頭となる。

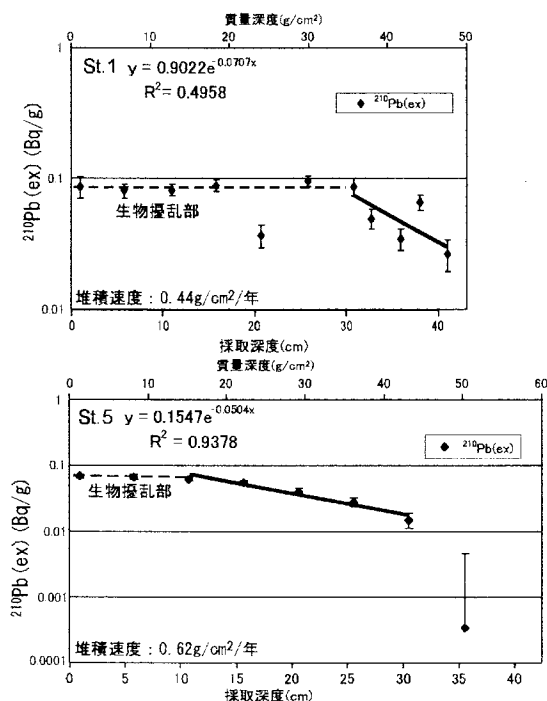


図-4 St. 1(泥質堆積物分布域: 上)と St. 5(砂質堆積物分布域: 下)における ^{210}Pb 放射能深度と堆積速度

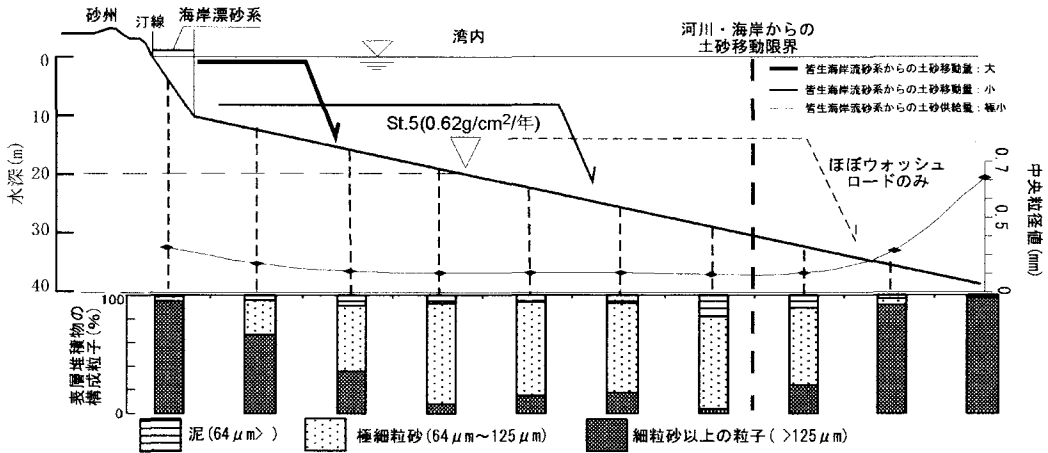


図-5 土砂輸送量モデル図。中央粒径値と表層底質構成粒子のグラフは美保湾底質データより作成
(ここでウォッシュロードには極細粒砂と泥を含む)

これは昭和初期にあたり海岸侵食が始まった後、1947年に鳥取県が対策委員会を設置する以前である。この時期に人為的影響や砂嘴の前進など何らかの影響が底質の粒度組成に反映されだした可能性がある。

とくに、St. 1およびSt. 3ではともに深度約8 cm以浅から粗砂の混入も認められ始める。この深度の年代は堆積速度から1980年代であると考えられ、この時期と前後して境港の港湾整備が進み、護岸整備や防波堤建設などが行われている。このことが粒度組成に影響を与えている可能性がある。

b) 砂質堆積物分布域

粒度プロファイルでは、2本のコアともに粒度変化は少なく、St. 5コアでは細粒砂以上の粒子の含有率は約30%、含泥率はコア下部で約30%、コア上部で約20%となる。また、St. 6コアでは含泥率が約10%、細粒砂以上の粒子が30%~40%含有する。両コアではともに、上方へわずかに含泥率が低くなり、より粗な堆積物の含有率が大きくなる。

St. 5で得られた鉛-210法による重量堆積速度は0.62 g/cm²/年であり、St. 6では上部で1.76 g/cm²/年、下部では0.25 g/cm²/年という重量堆積速度が得られた。ここで、St. 5では²¹⁰Pb放射能強度はコア上部から35 cmまでは検出することができたが、深度40 cmでは検出することができなかった(図-4)。35 cmでの²¹⁰Pb検出値は小さく、誤差範囲が大きくなっている。この深度35 cmと40 cmでの²¹⁰Pb強度の弱化と未検出の原因は、コアの上部から下部に向かって泥分が増えることから、粗粒堆積物による²¹⁰Pbの希釈効果に求めることはできない。このため、²¹⁰Pbの測定限界である100年前近くの堆積物であると判断される。また、St. 6に関しては上部は生物の擾乱を受けている可能性が高く、下部は²¹⁰Pb強度が

弱く、誤差範囲が大きくなるため、本考察からは除外することとした。

以上から、砂質堆積物分布域における、湾内への砂州を形成している細粒砂以上の土砂の単位面積当りのフラックスは約1,800 ton/km²/年となる。

皆生海岸の地形を維持するためには、水深9 mから海岸線へと連続する砂州地形を維持する必要がある、そのため砂州を構成する細粒砂以上の土砂の動態を明らかにすることが重要となる。

湾内に供給される細粒砂以下の土砂の供給源は河川と砂州である。このため、堆積物の細粒砂の含有率から、より細粒砂が移動する沖側の限界を求め、湾内に1年間で堆積する細粒砂以上の土砂量を推定した(図-5)。このとき湾内で得られたコアの鉛直粒度分布には全層準で顕著な変化は認められないことから、表層堆積物の細粒砂の含有量から地点毎の細粒砂フラックスを決定した。

陸側よりも沖側が細粒砂の含有率が大きくなる地点を、“河川・海岸から土砂が供給される海域”の限界とした(図-5)。すなわち河川および海浜から沖側へ細粒砂フラックスが減少し、細粒砂フラックスは“河川・海岸から土砂が供給される海域”の限界で0になる。また、水深9 m以浅は波浪による堆積物の移動があり、海岸漂砂系内であることから、この海域からは除外した。“河川・海岸から土砂が供給される海域”の面積を見積もると、約99 km²となる(図-6)。表層堆積物粒度組成および柱状試料から求めた“河川・海岸から土砂が供給される海域”内の細粒砂以上の土砂の平均フラックスは960 ton/km²/年となり、水深9 m以深に移動する年間土砂量は95,000 ton/年となる。これを体積量に換算すると約66,000 m³/年と見積もられ、この土砂量は佐藤ら(1998)が得た日野川からの供給土砂量約67,000 m³/年

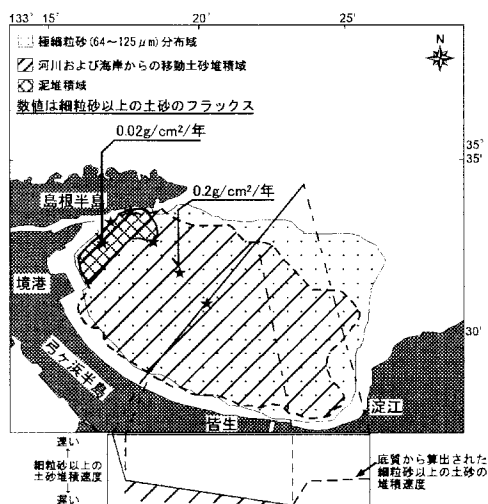


図-6 湾内における河川・海岸起源の土砂堆積域と年間土砂移動量算出モデル(図-5参照)

とほぼ同量であることから、河川から供給される土砂量と同量の土砂が水深9m以深に移動していることが明らかになった。

これまで侵食域で削られた土砂は、沿岸漂砂系により運ばれる過程で細粒砂以上の粒子が沿岸海域に堆積し、125 μ m径以下の粒子が沖合へ輸送されていると考えられていた。しかし本研究により、水深9m以深での年間土砂堆積量の約15%が125 μ m径以上の粒子であることが明らかになった。このことは土砂収支を考える際、125 μ m径以上の土砂の沖合への移動を考慮する必要性があることを示している。

5. ま と め

皆生海岸沖合の美保湾において採取した表層堆積物と柱状試料について粒度分析と鉛-210法を用いた堆積速度測定法を用い、皆生海岸流砂系から海域に移動・堆積する土砂量について推定した。その結果、以下のことが明らかになった。

1. 美保湾の底質は湾内に64~125 μ mの極細粒砂が卓越し、その沖合である島根半島沖の日本海にはより粗な堆積物が分布している。そのため日野川および皆生海岸から供給される土砂は、ウォッシュロードを除いて、ほとんどが美保湾内に堆積し、皆生海岸-美保湾系は細粒砂以上の土砂に関して閉じた系として考えることができる。
2. 堆積速度は泥堆積域で3.8mm/年、湾中央部で4.4mm/年である。それぞれの海域で細粒砂以上の土砂が含まれる割合は泥堆積域で5%未満、湾中央部で約30%になる。このことから湾内への細粒砂以上の土砂の単位面積当りのフラックスは泥堆積域で約200

ton/km²/年、湾中央部で約1,800 ton/km²/年となった。

3. 湾内に供給される細粒砂以下の土砂の供給源は河川と砂州であることから、堆積物の細粒砂フラックスから細粒砂が移動する沖側の限界を求め、湾内に1年間に堆積する細粒砂以上の土砂量を推定した。このとき湾内で得られたコアの鉛直粒度分布には全層準で顕著な変化は認められないことから、表層堆積物の細粒砂の含有率および重量堆積速度から地点毎の細粒砂フラックスを決定した。沖側の方が細粒砂の含有率がより大きくなる地点を、河川・海岸から土砂が供給される海域の限界とし、この海域面積を見積ると、約99 km²となる。海域内の細粒砂以上の土砂の平均フラックスは960 ton/km²/年となり、水深9m以深に移動する年間土砂量は95,000 ton/年となる。

謝辞: 愛媛大学工学部伊福 誠教授には本稿を執筆するにあたり、数々の改善すべき点をご教示頂いた。徳岡隆夫島根大学名誉教授には、本研究を進めるにあたりご討論頂いた。以上の方々にて感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- 阿部真人・佐藤慎司・磯部雅彦(2003): 鮫川・勿来海岸流砂系における土砂動態の長期的変遷に関する研究, 海工論文集, 第50巻, pp. 561-565.
- 井上卓彦・塩屋藤彦・岩本直哉・天野敦子・井内美郎(2005): 音波探査記録からみた美保湾の海底地質と宍道低地帯東部の後期更新世以降の地史, 地質学雑誌, (印刷中).
- 井上卓彦・塩屋藤彦・為末克章・井内美郎・徳岡隆夫(2002): 日野川-弓ヶ浜砂洲-美保湾における碎屑物の移動と堆積, 第12回環境地質学シンポジウム論文集, pp. 433-438.
- 井上卓彦・米田明徳・原口 強・五十嵐厚夫・井内美郎(2004): 堆積物分析からみた日野川・皆生海岸流砂系における過去400年間の環境変遷, 海工論文集, 第51巻, pp. 586-590.
- 海上保安庁(1992): 5万分の1沿岸海の基本図, 海底地形地質調査報告, 美保湾, 53p.
- 金井 豊・井内美郎・片山 肇・齊藤文紀(1995): Pb210, Cs137法による長野県諏訪湖底質の堆積速度の見積り, 地質調査月報, 46巻5号, pp. 225-238.
- 公文富士夫・立石雅昭編(1998): 新版碎屑物の研究法, 地学団体研究会, 399p.
- 佐藤慎司, 古屋隆男, 見附敬三, 谷口丞(1998): 日野川流域の土砂収支と海浜変形, 海工論文集, 第45巻, pp. 626-630.
- 原口 強・米田明徳・五十嵐厚夫・井上卓彦・井内美郎(2004): 地層解析による皆生海岸の侵食・堆積過程, 海工論文集, 第51巻, pp. 576-580.
- 福山貴子・松田武久・佐藤慎司・田中 晋(2003): 湘南海岸流砂系の土砂動態と相模川河口地形の変化, 海工論文集, 第50巻, pp. 576-580.
- 三浦・浩・川元壊二・島居謙一・山本幸次(2003): 重鉱物分析と放射年代測定の組み合わせによる住吉海岸の堆積環境の推定, 海工論文集, 第50巻, pp. 566-570.