

# 鹿島灘南部海岸の地形形成機構に関する現地調査

佐藤慎司<sup>1</sup>・前田亮<sup>2</sup>・磯部雅彦<sup>3</sup>・関本恒浩<sup>4</sup>・笠井雅広<sup>5</sup>・鳥居謙一<sup>6</sup>・山本幸次<sup>7</sup>

<sup>1</sup>正会員 工博 東京大学教授 工学系研究科社会基盤工学専攻(〒113-8656 文京区本郷7-3-1)

<sup>2</sup>東京大学工学系研究科社会基盤工学専攻

<sup>3</sup>フェロー会員 工博 東京大学教授 新領域創成科学研究科環境学専攻

<sup>4</sup>正会員 博士(工学) 五洋建設(株) 技術研究所

<sup>5</sup>正会員 工修 建設省河川局防災・海岸課

<sup>6</sup>正会員 工修 建設省土木研究所海岸研究室長

<sup>7</sup>正会員 建設省土木研究所海岸研究室

近年土砂環境が大きく変化した利根川河口から鹿島灘南部海岸において、海岸堆積物の分析と河口部における波・流れ・濁度の連続観測を実施し、さまざまな時間スケールでの土砂移動実態を解明した。海岸堆積物の試料は、汀線部で採取した底質と海底の柱状コアから作成したものを対象として、粒度分析および自然放射能の測定を行い、漂砂輸送に伴う分級と堆積過程の時間スケールを明らかにした。大規模出水の直後に実施した河口部での観測では、出水により流軸上に薄く堆積した微細粒径成分が、その後の波や潮汐や冲合いの流れによって再浮遊し輸送される過程がとらえられた。これらの結果に基づき、最近50年における海岸形成機構を検討した。

**Key Words :** coastal morphological processes, sediment discharge from river, sediment properties, Pb-210 measurement, field investigation

## 1. はじめに

流砂系における適正な土砂管理を行い、安全で快適な海岸環境を創造するためには、河口周辺沿岸域における漂砂機構を正しく理解する必要がある。しかし、河口周辺では水理的な物理環境のみに注目しても、淡水と海水が、波、潮汐、海の流れ、河川出水の影響を受けて複雑かつ著しく変動するため、その一般的な理解は不十分である。

利根川は、1621年から始まった赤堀川の開削に代表されるいわゆる東遷事業により江戸時代から流路が東へと変更され、太平洋に注ぐようになった。このため、河口周辺海岸の土砂環境は近世において大きく変化し、河口周辺の海岸地形も非平衡状態が継続している可能性がある。また、1971年には河口堰が建設され、流出土砂の特性も近年さらに変化していると考えられる。一方河口北側の海岸では、1975年までの鹿島港防波堤の建設、1985年までの波崎漁港防波堤の建設、1985年以後のヘッドランドの建設により、漂砂特性にもさまざまな変化が生じている。本研究では、底質調査、海底の柱状コアの分析、河口周辺における波・流れ・濁度の観測を総合的に実施することにより、このように特徴的な鹿島灘南部海岸の漂砂機構と海岸地形形成過程を解明することを目的とする。

## 2. 汀線部の底質と柱状コア試料の分析

### (1) 海浜変形の変遷

図-1は、1947年から1996年までの航空写真から汀線位置を読み取ったデータを、1947年を基準として比較したものである。潮位の影響は撮影時刻をもとに補正されている。同海岸には、約1km間隔で5基のヘッドランドが建設されているが、上図はヘッドランドの建設が始まる前のデータであり、下図は建設後のものである。上段の図をみると、鹿島港建設前には、河口から北へ約10kmの範囲で汀線が前進しており、同領域は、利根川からの供給土砂でゆるやかな堆積傾向にあつたと考えられる。鹿島港の完成とともに北端部で局所的な堆積が生じ、その後、河口堰と波崎漁港の建設を経てヘッドランド建設が開始された1984年には南側領域で100mに及ぶ汀線後退がみられる。北端部の局所的な堆積は、佐藤ら<sup>1)</sup>に報告されているように、鹿島港建設に伴う南海岸への約3,900万m<sup>3</sup>の土砂投棄によるものと考えられ、堆積域は鹿島港南端部から約5kmの領域にまで広がっていることがわかる。ヘッドランド建設後の下段の図をみると、宇多ら<sup>2)</sup>にも示されているように波崎漁港近傍での堆積が進むとともに、侵食が進んだ区域でも徐々に汀線が回復する傾向にあり、ヘッドランドによる汀線の安定化が実現されていると判断できる。

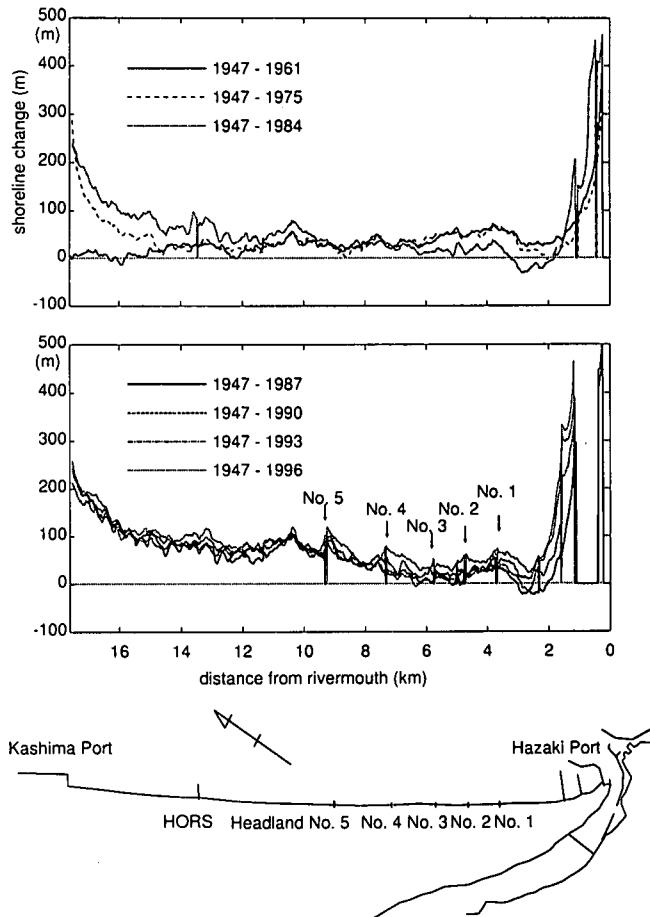


図-1 汀線変化

## (2) 底質の粒度特性

海岸の底質は一般に、沿岸漂砂の下手に向かうにつれて粒径が小さくなり、淘汰が進むといわれている。沿岸漂砂による分級過程を把握するために、汀線部満潮位付近の表層底質を採取し、粒度分析した。底質は、1999年8月19日に、波崎漁港北端から鹿島港南端までの約18kmの範囲で採取した。底質の採取間隔は約100mとしたが、北部の海岸は、浜幅が広く単調であるため、200m間隔とした。南側海岸のヘッドランド施工区間では、さらに細かく採取することにより、合計167地点の試料を取得した。また、海底における土砂の堆積構造を検討するために、同海岸に約5km間隔で7本の測線を設置し、海図上における各測線の水深3m、7m、20mの地点において最大長さ2m、直徑10cmの柱状コアを採取した。コアの採取は、1999年8月11日から8月25日までにバイブルハンマーによる採取方式で実施した。採取したコアは、写真撮影などを行った後、表面から5cmごとにスライスして分析用の試料とした。取得

したコアは、汀線部のものを含めて、合計28本であるが、本研究では、利根川流軸より北側の15本分の試料を分析した。本研究で分析した柱状コアの採取測線は、後掲の図-5に示してある。本論文では、①から⑤の5本の測線のコアに対し、例えば測線③の水深7mのコアを③-7と表記することにする。後述するように、8月15日に大規模な出水が生じたが、本論文で解析の対象としたコアは、河口流軸上の⑥の測線上のもの以外は出水前に採取されたものである。測線⑥のコアは、出水後の8月25日に採取されている。

底質の粒度分析にはレーザ回折式粒度分布測定器を用いた。計測器の測定範囲は0.1~500μmであるので、500μm以上の粒子が存在する試料については、ふるい分け分析を併用した。図-2は、汀線部満潮位付近の底質の中央粒径 $D_{50}$ の沿岸分布を示したものである。過去に同じ領域で取得されたデータも合わせて示してある。また、図-3は、汀線部干潮位付近の底質粒径を示したものである。加藤ら<sup>3)</sup>のデータについては、満潮位

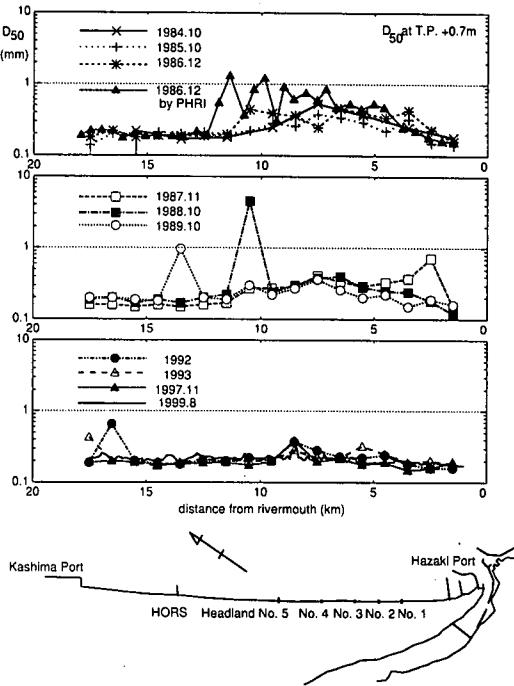


図-2 汀線部満潮位付近の底質の中央粒径

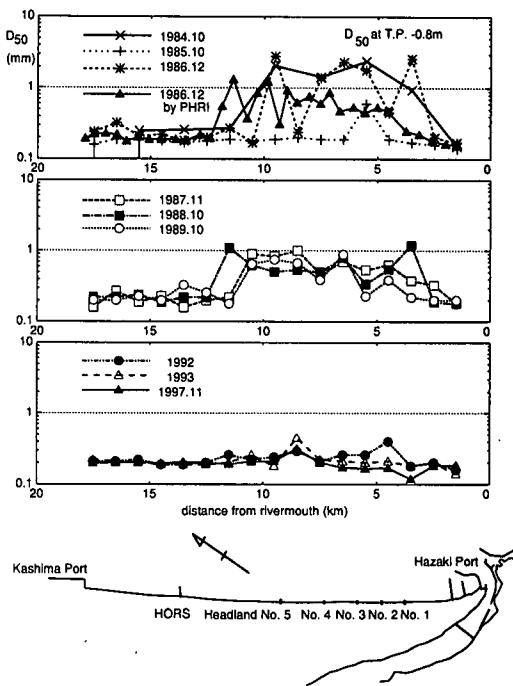


図-3 汀線部干潮位付近の底質の中央粒径

と平均潮位の中間で取得されているため、両方の図にプロットした。両図より、1990年頃まではヘッドランド施工区間で粒径が大きいことがわかる。同様の傾向は、宇多ら<sup>2)</sup>の調査による鹿島港北側の海岸でもみられており、侵食により細粒分が沖合に流出して粗粒化が進んだ結果であると判断できる。ヘッドランドの施工が進んだ1990年頃からは、以前粗粒化が進んだ領域でも細粒化しており、ヘッドランドにより海浜の安定化が図られるとともに微細砂成分が捕捉されるようになったものと考えられる。図-2と図-3を比較すると、干潮位付近の底質粒径の方が大きい傾向があるが、1990年以後の細粒化はどちらの図でも認められる。

粒径分布をさらに詳しく検討するために、今回採取した底質に対して粒度分布の確率密度を示したのが図-4である。横軸は河口からの距離、縦軸は粒径であり、粒度分布が確率密度の濃淡図として示されている。底質粒径は、河口から離れるにつれてわずかに増加する傾向にあることがわかる。このような傾向は、鹿島港での土砂投棄が実施される前の1962年6月および12月に実施された井島ら<sup>4)</sup>の調査でも報告されている。当海岸の平均的な沿岸漂砂の方向が北向きであることを考慮すると、利根川河口から供給された土砂のうち、粒径が0.15mmより細かい微細砂成分は北向きへの輸送過程で徐々に沖合いへと流出しているものと推定される。

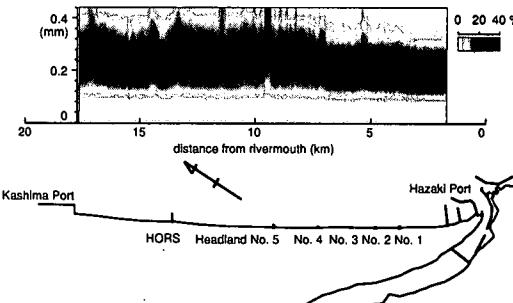


図-4 汀線部満潮位付近の底質粒径の確率密度

図-5は、①から⑤で採取した柱状コアの構成成分を、目視観察と粒度分析結果をもとに図示したものである。コアを構成する底質は、ほとんどが細砂であるが、ところどころに粗砂や小礫を含む層が見られる。粗砂層の存在は、水深が浅くなるほど多くなり、また、過去に侵食を受けた区域である③や④のコアほど多くの傾向がある。シルト・粘土質成分は、河口前面の⑥を中心いて存在するが、層の厚さはきわめて薄く、物理的な海岸形成の主体とはなっていない。図-6は、①から⑤の各測線のコア試料の中央粒径の分布を示したものである。測線③と⑥のコア試料については、5cmごとにスライスした全試料の粒度を分析したが、その他

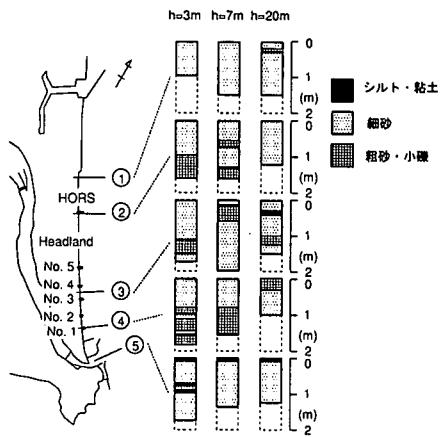


図-5 柱状コアの構成成分

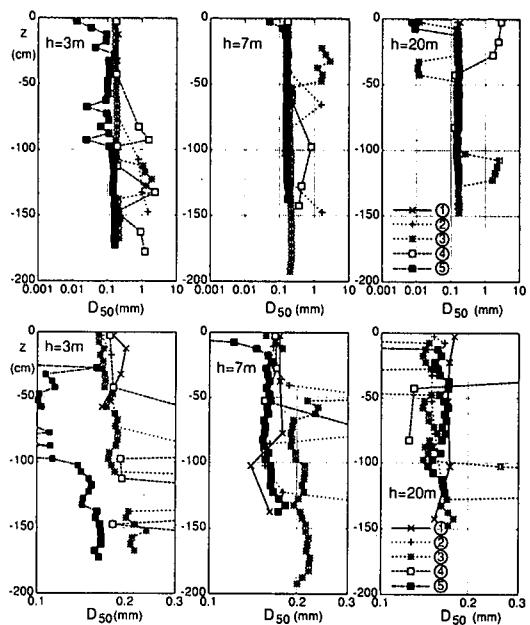


図-6 柱状コアの中央粒径の分布

の測線については、コアの目視観察結果を参考にして特徴的な層を抽出して分析を行った。コア試料の中央粒径は、そのほとんどが 0.14~0.22mm の領域に集中するため、0.1~0.3mm の部分を拡大して図-6の下段に示してある。同図から、海岸を構成する主要な成分は粒径 0.14~0.22mm の細砂と判断されるが、それに中央粒径 1~3mm の粗砂が層状に挟まれていることがある。主要な構成成分である細砂の中央粒径は、水深が深くなる程均一化する傾向にあるが、⑤-3 の粒径が著しく小さいことを除いて、場所や水深による系統的な

違いは見られない。また、特に從来の調査で粘土質が多いとされる河口前面においても、水深 7m や 20m 地点では、粘土成分は表層の 10cm 程度の薄い領域にのみ存在し、その下は細砂で構成されていることは注目に値する。すなわち、利根川から供給される粘土質成分配子は、河口前面に一時的には堆積するものの、波や流れの作用により容易に再浮遊させられるため、安定した地形構成要素とはならない。

### (3) 堆積年代の推定

前節で示したような砂礫層の形成機構を理解するためには、過去の深浅測量データを分析する必要があるが、最も調査実績の多い海岸でも測量データは 30 年程度しか蓄積されていないのが現状である。数十年以上のスケールでの海岸地形変形過程を検討する手がかりを得るために、本研究では、柱状コア試料を用いて、自然放射能の測定と、底質の最大粒径による検討を行うことにした。

#### a) 自然放射能の測定

数十年の期間における堆積物の堆積年代を自然放射能の測定により推定する手法としては、Pb-210(半減期 22.3 年)に注目する方法と Cs-137(半減期 30.2 年)による方法が有効である<sup>5),6)</sup>。前者は、ウランの崩壊系列中で発生する気体である Rn-222 が大気中に拡散後崩壊して金属の Pb-210 が発生し、これが地表に降り積もることにより生じる放射非平衡を利用するものであり、後者は、核実験が多数行われた 1963 年頃に大気中で高濃度となった Cs-137 を示準物質として利用するものである。なお、海岸堆積物の自然放射能を測定した例としては、仙台湾で佐藤ら<sup>7)</sup>が実施した例があるが、これは、トリウム系列の崩壊に注目して重鉱物に含まれる自然放射能を直接計測することにより、これをトレーサーとして漂砂の卓越方向を推定したものであり、降下物フラックスにより堆積過程を推定する今回の手法とは本質的に異なる。

柱状コアを 5cm ごとにスライスした試料を低温乾燥し、直徑 8cm のアクリル製容器に厚さ 4mm に均一に成形した上で密封して約 30 日間放置し、半減期 3.8 日の Rn-222 の崩壊過程が十分放射平衡に達する状態にした。これを、遮蔽体内にセットし、ベリリウムウインドウつきの γ 線スペクトロメータで γ 線放出量を計測した。試量から放出される γ 線の量は極めて微少量であり、計測カウンタで捕捉されるものはさらにわずかで計測効率は低いため、高精度の測定を行うためには計測時間を長くする必要がある。本研究の測定では、一つの試量に最低 24 時間の計測時間を確保するようにした。

γ 線スペクトロメータの出力は、放出エネルギーごとの放出数がエネルギースペクトルの形で得られる。本

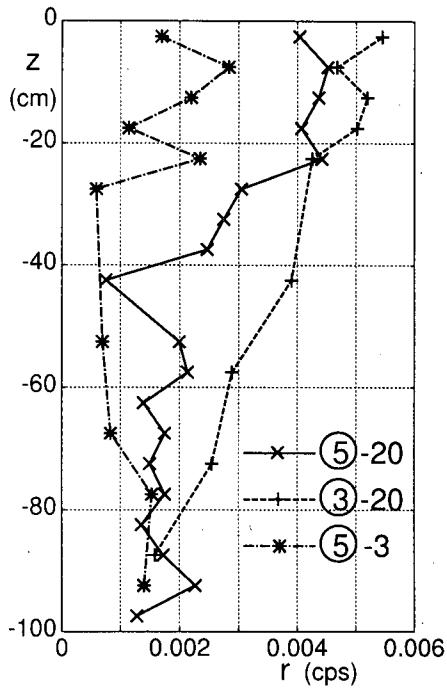


図-7 柱状コアの Pb-210 の放射線強度

研究で注目した Pb-210 と Cs-137 は崩壊に際しそれぞれ 46.5keV, 661.6keV のエネルギーを放出するので、この 2 つのエネルギー帯に注目して放射線強度を評価することにした。計測に先立ち、あらかじめ Pb-210 の含有量がわかっている泥質土を厚さ 4mm に成形した標準サンプルを用いて、測定器の計測効率を測定した。また、試料をセットしない状態におけるバックグラウンドのスペクトルについても計測し、これを各試料の測定値から差し引くことにより測定精度の向上を図った。標準サンプルの計測から得られた測定器の計測効率は 0.23% であった。測定用の試料の作成から測定まで多数の日数を要するため、測定対象を厳選して測定を実施した。対象としたのは、⑤-3, ⑤-20 のコアおよび③-20 のコアである。いずれの試料からも Cs-137 に対応するエネルギー帯に明確なピークは現れなかつたため、Pb-210 のみについて以後の解析を行った。

図-7 は、3 つのコア試料に対する Pb-210 の  $\gamma$  線強度  $r$  を示したものである。縦軸は、海底面 ( $z = 0$ ) からの深さであり、横軸は 1 秒あたりの  $\gamma$  線検出数である。Pb-210 の含有量は、海底表層ほど多く、深部では一定値に漸近していくように見える。深部における漸近値は、地盤に元々含まれる Pb-210 成分と考えられ、この値との差分が新たに降り積もった Pb-210 の過剰成分と考えられる。水深 20m の領域では過剰鉛は⑤ では海底

面下 60~80cm、⑤ では海底面下 40cm の範囲に存在するのに対し、河口前面の水深 3m では表層 20cm の薄い領域のみにしか見られない。すなわち、水深 20m の沖合いでは数十年スケールの新しい堆積物が 40~80cm の深さにまで存在しているのに対し、水深 3m ではあまり厚くは堆積していないことになる。これは、沖合いでは緩やかな堆積過程が進行しているのに対し、水深 3m 地点では、波による侵食と堆積が繰り返され底質の混合が激しいためと考えられる。水深 3m 地点で底質の混合が激しいことは、図-6 に示した底質粒径で、⑤-3 では海底表面から 1m 程度の深さにまで粘土・シルト分が混入していることからも裏づけられる。また、沖合い 20m 地点における Pb-210 の含有層厚さは、湖沼のもの<sup>5)</sup> より 1 オーダー大きく、この層に含まれる土砂の全てが最近数十年間に新たに堆積したものとは考えにくい。海底表面は、沖合いにおいても波浪の影響によりある深さまで混合されると考えられるので、図-7 に示した堆積層の厚さは、数十年間における土砂の混合履歴厚さを表していると解釈できる。すなわち、沖合で漂砂が動的平衡状態にあり、平均海底面の変動が小さいと仮定すると、海底面から 40~80cm 程度の深さまでの土砂の混合は、数十年に一度の頻度で生じていると言える。

### b) 最大粒径による検討

コア中の底質の主成分は細砂であるが、その中に粗砂層が挟まれており、粒径 1cm を超える堆積岩由来の小礫が含まれていることもあった。波によって移動する底質の粒径には、波高、水深に応じて限界値があるため、ある地点の底質の粒径から逆にその場所に作用した波浪の規模を推定することができる。このような検討により、大粒径底質が含まれる層が、数年に一度の高波浪で形成され得るものか、数千年スケールの水面の変動まで考慮しなければ形成され得ないものか判定することができる。

図-8 は、粒径 1cm 以上的小礫が含まれたコア試料に対して、底質の最大粒径  $D_{max}$  とコア採取水深  $h$  の関係を示したものである。コア中の底質の最大粒径は水深が大きくなるほど小さくなり、水深 20m では、10~15mm である。合田ら<sup>8)</sup>によれば、鹿島港の波浪記録から推定した 100 年確率波高は 9~9.7m である。図-8 には、これに対応する波浪として、波高 10m、周期 15s の条件に対して、佐藤・田中<sup>9)</sup>の表層移動限界に対応する粒径を示してある。水深 20m 地点におけるコア中の底質の最大粒径は、100 年確率波による表層移動限界に対応する粒径とほぼ同程度であることから、これらの大粒径底質は百年オーダーの時間スケールで移動可能であり、したがって比較的新しい年代の堆積物である可能性が高い。

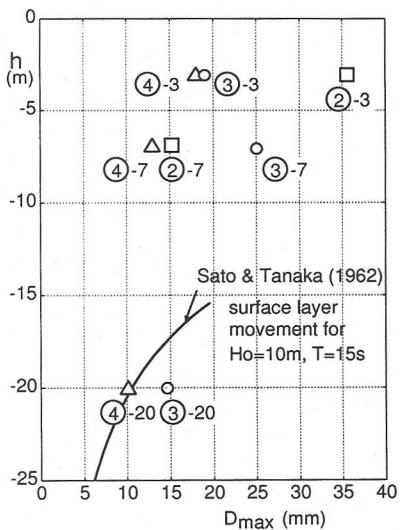


図-8 柱状コアの最大粒径

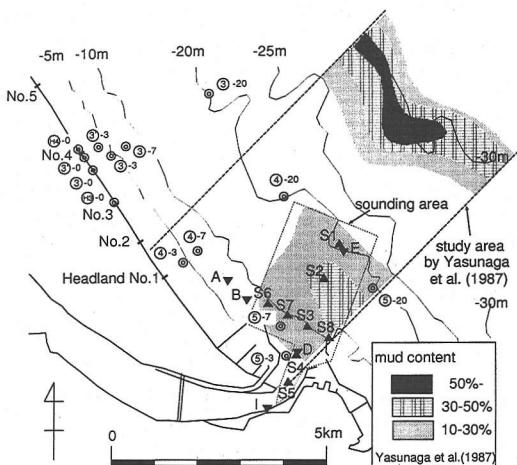


図-9 観測地点および柱状コアの採取地点

### 3. 河口周辺の波・流れと濁度の観測

鹿島灘南部海岸への主要な土砂供給源である利根川の河口部では、出水による短期的な土砂供給と波や流れによる土砂輸送が繰り返され、周辺海岸への土砂供給が実現されていると考えられる。これらの機構を解明することを目的として、河口部において波・流れ・濁度の連続観測を実施した。観測は1999年8月20日から一ヶ月間実施し、図-9に示したA, B, D, Eの4点の底面付近に波高流速計と濁度計を設置し、河道内のI点に濁度計を設置した。また、8月31日と9月28日に河口前面の領域で深浅測量を実施するとともに、S1

～S8の各点で表層底質を採取した。図-9には、図の範囲内で採取した柱状コアの採取地点と、既往の調査<sup>10)</sup>で報告されている表層底質の泥成分含有率も合わせて示してある。

図-10は、観測された潮位 $\eta$ 、有義波高 $H_{1/3}$ 、有義波周期 $T_{1/3}$ 、A～E点の水温、河道内のI点の濁度を、取手観測所における利根川流量とともに示したものである。濁度の値については、濁水を直接採取することができなかつたため、カオリナイト溶液を用いて較正された計測器の出力値をそのまま示してある。観測開始直前に流量5,000m<sup>3</sup>/sを超える大規模出水が観測されている。布川観測所における利根川の年最大流量<sup>11)</sup>を示した図-11をみると、今回の観測の直前の出水は、ほぼ10年に一度の頻度で起こる規模のものであると判断される。

図-10によると、観測期間は、出水の影響が残り、波高1～2mのうねりが持続した期間I(8/21-8/31)、河川流量が小さく波浪も静穏であった期間II(9/1-9/14)、台風16号の影響で有義波高2mを超える風波の来襲と小規模な出水が生じた期間III(9/15-9/19)に分けられる。河道内のI点の濁度は期間IとIIIで大きくなっているため、両期間の水理現象についてさらに詳しく検討することにする。

図-12は、期間Iにおける潮汐、波浪、と各測定点における流れと濁度を示したものである。流れは、20分間の平均流速として評価し、濁度は、30分間隔で測定された10秒間の濁度の平均値として評価したものである。地点Iにおける濁度は他の地点の1/10倍のスケールで表示している。B点の計測器は、計器回収時に転倒していたことが確認されており、8月30日以降の水温以外の記録は信頼性に欠ける。また、8月27日から28日にかけて、E点における濁度が計測レンジを超えている期間が見受けられる。各点の流速は変動が大きく、河口前面流軸上に位置するD, E, I点では濁度変動も大きい。これらの変動周期は半日または1日であり、潮汐との相関が高い。流れの特徴を見ると、E点では海岸に平行な流れが卓越するのに対し、D点では岸沖方向の流れが卓越する。期間Iでは、河川流量は比較的大きかったにも関わらず、河口前面のD点でも沖向きの流れが観測されているのは下げ潮時の一時期に限られており、平均的には南向きの流れの頻度が高い。図-10の水温変動記録より、期間Iでは、A, B, D点とE点の水温との間に最大2～3°Cの差があり、水温差に基づく密度成層が発達していると推定される。さらに、塩分濃度の異なる河川水が大量に流入することにより、塩分濃度差による密度場の変化も加わっており、上層を流れる河川水と底層の海水の運動に顕著な差が生じていると考えられる。D点における流れは、底層

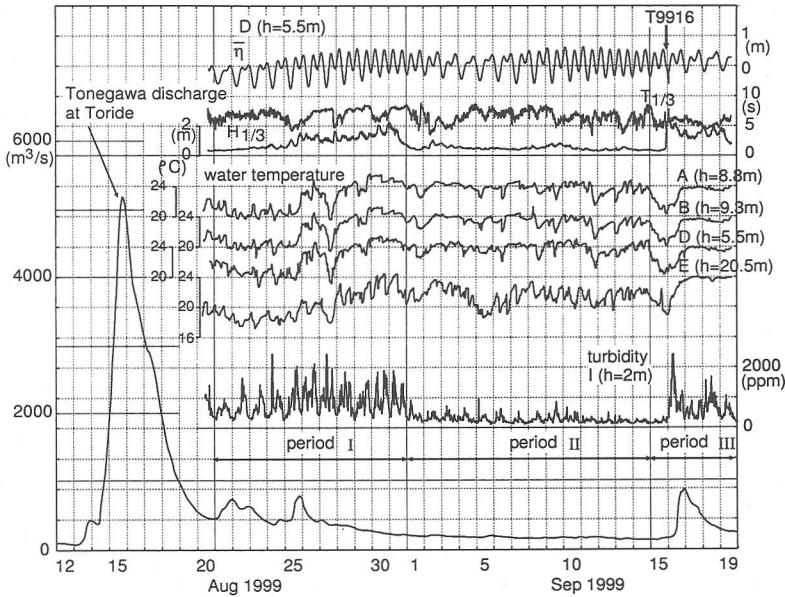


図-10 潮汐、波浪、水温、濁度、利根川流量の経時変化

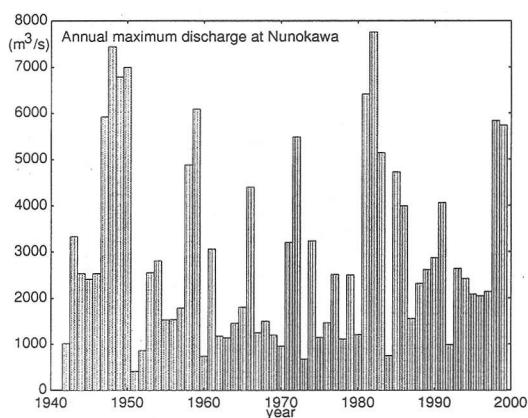


図-11 布川観測所における利根川の年最大流量

の海水の流動を捉えていると考えられ、成層面の変動に基づく内部潮汐などの流体運動も加わって複雑な挙動を示している。このように、期間Iでは、出水直後の堆積物がうねりによって再浮遊し、密度成層場に特徴的な流体運動で輸送される機構が支配的である。

図-13は、期間IIIにおける観測記録を示したものである。期間IIIでは、台風16号の通過による波高の増大、強い南東流の発生、水温の上昇、小規模出水が半日間にこの順に発生している。E点では海岸に平行な南東向きの強い流れが発達し、その流速値は50cm/s

に達している。D点では流れは小さく、出水の影響とみられる沖向きへの弱い流れが捉えられている。期間Iと異り、これらの流速や濁度の変動と潮汐との相関は低い。同期間には、全観測点で水温がほぼ24°Cまで一様に上昇しており、観測領域内で密度成層に特徴的な流体運動は発達していないものと考えられる。E点における濁度増加は、D、Iのそれより数時間先行しており、同地点における波高の増大と強流の発生時刻と対応していることから、出水に起因するものではなく、底質の再浮遊によるものである。海洋速報<sup>12)</sup>によれば、9月には黒潮が常盤沖に接近し、常盤沿岸では暖水塊が流入するとともに黒潮の反流としての南向きの流れが発達している。西日本に上陸した台風16号による海水の大規模流動は考えにくいことから、同期間に観測された南向きの流れは、黒潮の反流によるものであると判断できる。

図-14は、A、D、E地点における懸濁物の輸送フラックスを期間IおよびIIIに対して示したものである。碎波帯内の沿岸漂砂が北向きと考えられるのに対し、沖合いのE点では、南東向きの輸送が卓越し、河口前面のD点においても河川から流出する向きのフラックスは小さい。これは、全期間を通じて南東向きの流れが卓越したこと、期間Iでは密度成層が発達していたと考えられることなどが原因である。河口の北側に位置するA点での濁度変動とフラックスはいずれも小さく、出水に伴う微細粒径成分は、今回の観測期間中には北

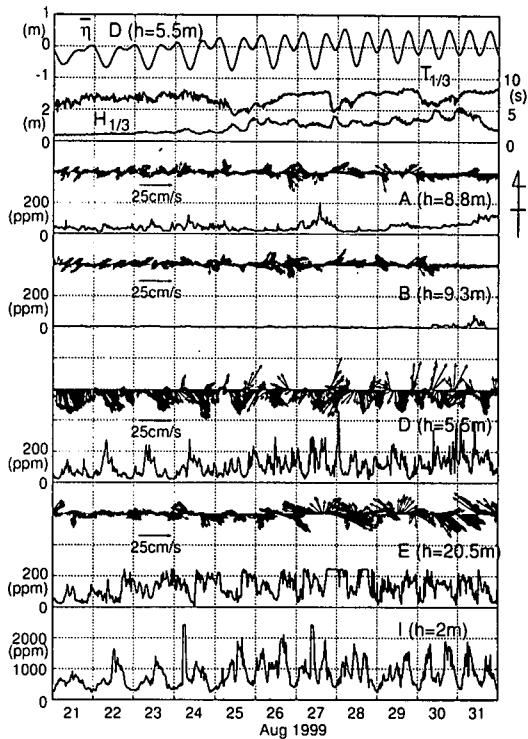


図-12 潮汐、波浪、流れ、濁度の経時変化(期間I)

側へはほとんど輸送されていないと言える。北側領域で泥質成分が少ないと図-9に示した表層底質の調査<sup>10)</sup>でも報告されており、今回の観測事例のみでなく利根川河口部で一般的に見られる傾向である可能性がある。

図-15は出水の約2週間後とさらにその一ヶ月後の地形を比較したものである。一ヶ月間の地形変化は小さいが、流軸上でやや侵食、その周辺でやや堆積傾向にある。図-16は、スミス・マッキンタイヤ採泥器で採取したS1～S8の表層底質の中央粒径  $D_{50}$  を各点の水深を縦軸にとって示したものである。流軸上の点のデータは互いに線で結んである。中央粒径は、河口から離れるにしたがって小さくなり、一ヶ月間の変化をみるとS5地点を除いてやや粗粒化している。地形変化と合わせて考えると、出水により微細粒径成分が流軸上を中心に表層に薄く堆積し、それがその後の波・流れで再浮遊し、輸送されたものと考えられる。これは、9月初旬に採取した流軸上の測線⑤の柱状コアの表面に粘土質成分の堆積がみられたこととも整合する。

#### 4. 鹿島灘南部海岸における漂砂の実態

前節までの分析から鹿島灘南部海岸の漂砂実態は、

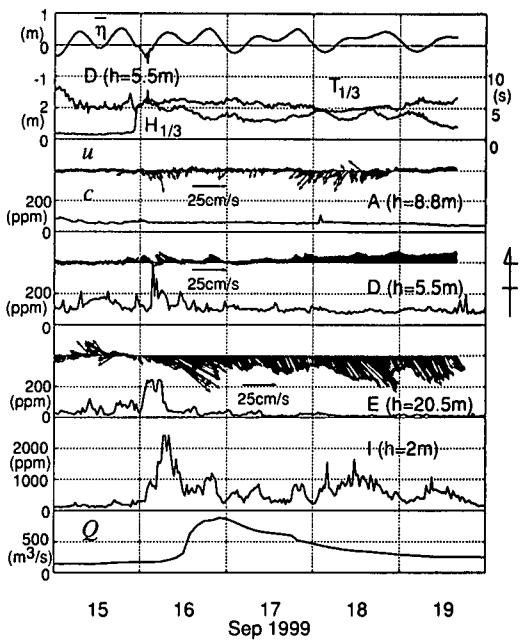


図-13 潮汐、波浪、流れ、濁度、利根川流量の経時変化(期間III)

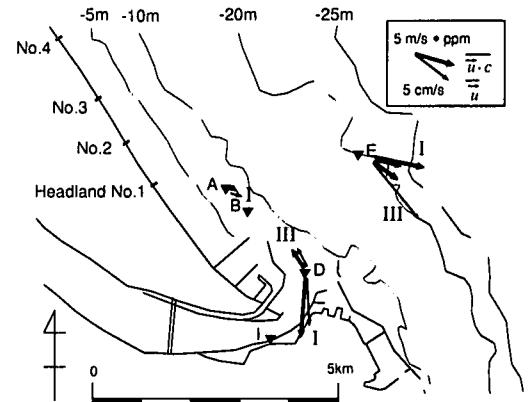


図-14 平均流速および懸濁物の輸送フラックス

図-17に示すような変遷をたどってきたと考えられる。なお、利根川からの流出土砂の大部分は粘土・シルト質の微細粒径成分と考えられるが、これらは、今回の観測結果からも河口部に一時的にしか堆積しないことが明らかとなつたため、図には示していない。海岸を構成する主成分は、粒径0.14～0.22mmの細砂であり、部分的に挟まれている粗砂層は最近20年間に侵食を経験した区域に多くみられることや汀線変化の変遷から考えて、1960年頃までは、利根川から流出した細砂と少

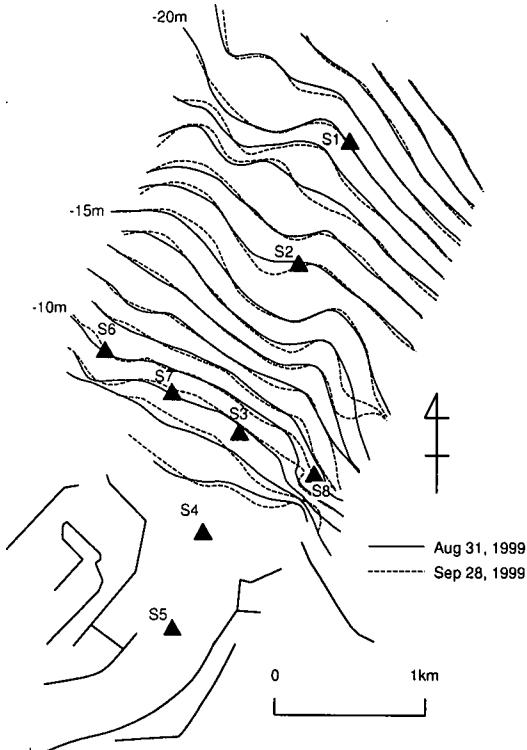


図-15 河口前面部の一ヶ月間の地形変化

量の粗砂・小礫が平均的にはやや南からの波が卓越する沿岸漂砂により北へ輸送され、河口周辺の北側海岸は徐々に堆積する傾向にあったと考えられる。利根川から粗砂・小礫が供給されていたことは、図-16に示した河口河道内の測点S5に粗砂や小礫が観察されたことからも裏づけられる。沿岸漂砂による北への輸送過程で、細砂のなかでも微細砂成分は冲合いへと輸送されるため、汀線部の粒径はわずかに増加することになる。冲合いへ輸送される微細砂成分は浮遊状態で輸送されるため、その輸送機構は冲合いの流れの特性に支配される。本研究の観測期間では、黒潮反流の南向きの流れが卓越したため、この場合には平均的には南向きへ輸送されていたことになる。当海岸で平均的に南向きの流れが卓越する傾向があるかどうかについては、さらに長期間のデータによる検討が必要である。

河口堰と波崎漁港の建設が進んだ1980年頃には、利根川からの流出土砂は細砂以下の成分が主体となり、水深8m地点まで延伸された防波堤の影響などにより北側海岸への土砂供給量は激減したと考えられる。鹿島港南端部で土砂投棄による局所的な堆積がみられ<sup>1)</sup>、波崎漁港北端部から約10kmの区域では侵食が進んだ<sup>2)</sup>。図-1より、平均的な汀線の向きは、北端部の海岸を除

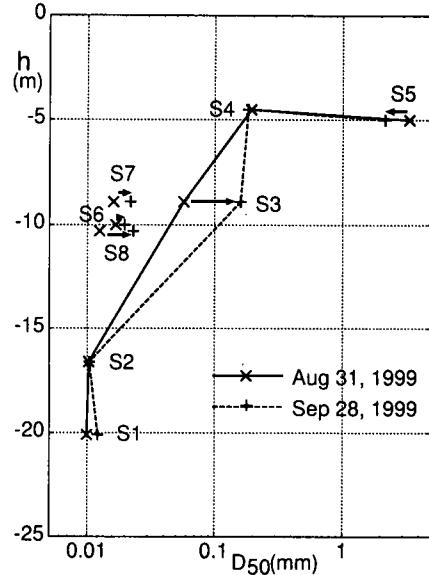


図-16 河口前面部の表層底質の中央粒径

いて大きな変化はなく、平均的な波の作用はほとんど変化していないと考えられるので、南部の海岸の沿岸漂砂や微細砂成分の輸送量に大きな変化はなく、土砂供給が不足する区域では侵食と粗粒化が進み、残された粗砂は粗粒層を形成することになる。粗粒層の形成は、汀線付近のみでなく、水深20m程度の沖合いにまで及んでいる所があり、このような場所では、沖合いへの微細砂の輸送量が不足し、場所によっては、表層に粗粒層が露出している所もある。これは、柱状コアの分析から、③や④の測線では、全ての水深で粗粒層の存在が確認されていることからも裏づけられる。

5基のヘッドランドの建設がほぼ完了した2000年頃には、利根川からの流出土砂の特性は1980年頃と大きな違いはないが、一時侵食が激しかったヘッドランドの施工区間で、汀線がやや回復し、微細砂の堆積が進んだ。これは、ヘッドランドにより、沿岸流が弱められ、碎波帯で発達する浮遊砂が堆積する傾向になったためと考えられる。ただし、ヘッドランドの長さは約200mで、先端部の水深は3~4mであるので、堆積が進んだ領域は汀線付近の狭い領域に限られていると考えられる。このことは、測線④の水深20m地点や測線③の7m地点では現在でも表層近くに粗粒層が残存していることからも裏づけられる。汀線付近の微細砂の堆積が、冲合いの海浜の回復を含めた海浜過程にどのような影響を及ぼすのか、今後の調査で監視を継続する必要がある。

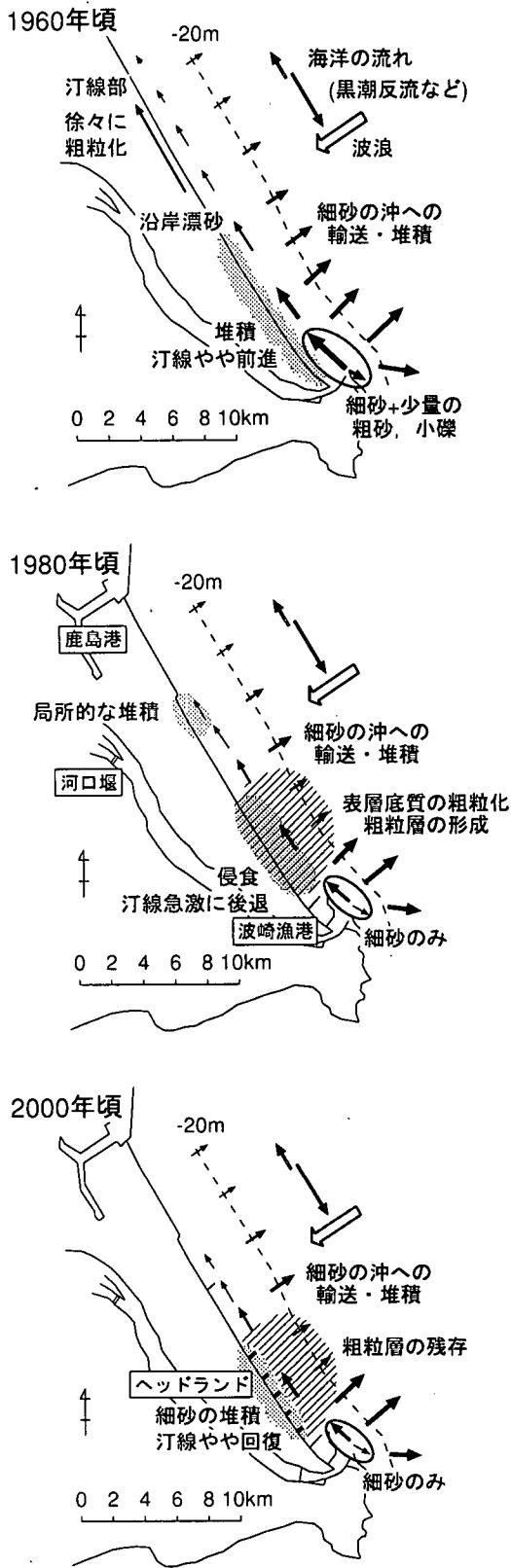


図-17 鹿島灘南部海岸の漂砂の実態

## 5. おわりに

本研究では、利根川河口およびその北部の海岸において、海岸堆積物の粒度分析、自然放射能の測定、河口部の波・流れ・濁度・地形変化の観測を総合的に実施し、出水直後の河口周辺の漂砂機構を解明するとともに、数十年スケールの土砂移動実態を推定した。古い時期の調査データが少ない海岸においては、本研究で実施したような総合的な検討が、中長期的な海岸過程を把握するうえで、きわめて有効な手法であると考えられる。今後は、調査手法の簡素化、効率化を検討するとともに、さまざまな海岸の地形形成過程の解明に応用してゆくことが重要である。

**謝辞：** 本観測の実施にあたっては、東京工業大学の瀬岡和夫教授を始めとする HORS99 総合現地観測の参加者との議論が有益であった。また、観測結果の分析に際し、建設省関東地方建設局利根川下流工事事務所より流量観測値、茨城県河川課および(株)INA より汀線位置データと底質粒径データを提供していただいた。自然放射能の測定には、(財)電力中央研究所の馬原保典氏、清水隆夫氏、地質調査所斎藤文紀氏、東京大学農学生命科学研究科中西友子助教授、アイソトープ総合センターの野川憲夫助手の協力を得た。また、現地調査には、東京大学海岸・港湾研究室、五洋建設(株)技術研究所、建設省土木研究所、水産工学研究所、(財)漁港漁村建設技術研究所の多くの方々の協力を得たことを付記し、謝意を表する。

## 参考文献

- 1) 佐藤昭二, 田中則男, 佐々木克博：鹿島港建設に伴う海底地形の変化について—事例研究—, 港湾技術研究所報告, 第 13 卷, 第 4 号 (2), pp. 3-78, 1974.
- 2) 宇多高明, 住谷透夫, 小林洋三：茨城県における海浜変形の実態, 地形, 第 7 卷, 第 3 号, pp. 141-163, 1986.
- 3) 加藤一正, 柳嶋慎一, 栗山善昭, 浅倉弘敏, 村上裕幸, 藤田誠：波崎漁港から日川浜海岸にかけての前浜地形と底質粒径, 漂砂研究室リポート, 41p., 1987.
- 4) 井島武士, 佐藤昭二, 田中則男：鹿島港海岸の漂砂について, 第 11 回海岸工学講演会講演集, pp. 175-180, 1964.
- 5) 金井豊, 井内美郎, 片山聰, 斎藤文紀： $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  法による長野県飯附湖底質の堆積速度の見積り, 地質調査所月報, 第 46 卷第 5 号, pp. 225-238, 1995.
- 6) Mahara, Y., Kudo, A., Kauri, T., Santry, D.C. and Miyahara, S.: Mobile Pu in reservoir sediments of Nagasaki, Japan, *Health Physics*, Vol. 54, No. 1, pp. 107-111, 1988.
- 7) 佐藤昭二, 入江功, 杉山茂信：天然放射能による漂砂の供給源および卓越方向の推定について, 第 14 回海岸工学講演会講演集, pp. 300-305, 1967.
- 8) 合田良實, 小長谷修, 永井紀彦：極値波浪統計の母分布関数に関する実証的研究, 海岸工学論文集, 第 45 卷, pp. 211-215, 1998.
- 9) 佐藤昭二, 田中則男：水平床における波による砂移動

- について、第9回海岸工学講演会講演集、pp. 95-100,  
1962.
- 10) 安永義暢、上北征男、日向野純也、明田定満：砂泥性着底基質の解明—III—碎波帯冲合部における底質とベンチスの関係調査例—、水産工学研究所技報、水産土木、第8号、pp. 43-62、1987.
  - 11) 建設省河川局編：流量年表、日本河川協会。
  - 12) 海上保安庁：海洋速報、海上保安庁水路部、  
<http://www.jhd.go.jp/jhd.html>.

(2000. 3. 27 受付)

## FIELD INVESTIGATION ON COASTAL MORPHOLOGICAL PROCESSES OF THE SOUTH KASHIMANADA COAST

Shinji SATO, Ryo MAEDA, Masahiko ISOBE, Tsunehiro SEKIMOTO, Masahiro KASAI,  
Ken'ichi TORII and Koji YAMAMOTO

A field investigation was performed at the Tonegawa river-mouth and the south Kashimanada coast whose littoral environment changed drastically owing to the construction of river, port and shore protection facilities. Littoral drift with various time scales was described on the basis of analysis of sediment samples as well as measurements of waves, currents and turbidity around the river-mouth. Particle size analysis and measurements of  $\gamma$ -ray radiation were carried out for sediment samples collected along the shoreline and vertical core samples taken from the sea bed, revealing the temporal scales of sediment sorting and sedimentation processes. Measurements at the river-mouth were performed just after a flood, in which the resuspension process by waves, tidal flows and ocean currents was described for fine sediments deposited by the flood. Schematic diagrams of coastal morphological processes in recent 50 years were presented.