

日向灘流砂系の土砂動態と砂礫海浜の長期変形

Sediment Movement and Long-term Deformation of Sand and Gravel Beaches in Hyuganada Sediment Cell

佐藤慎司¹・岸本 瞬²・平松遙奈²

Shinji SATO, Shun KISHIMOTO and Haruna HIRAMATSU

Mechanism of sediment movement and long-term deformation of sand and gravel beaches in the Hyuganada Sediment Cell, Miyazaki Prefecture, were investigated on the basis of comparisons of shoreline position in old maps and aerial photographs for the period of 200 years. Significant coastal erosion in the northern region and slight shoreline advance in the southern region were identified. Huge amount of sediment retention in reservoirs with a rate of 1.9 million cubic meters per year was considered to decrease the sediment supply to the sea through four major rivers. Physical properties of sand particles, such as particle size and thermo-luminescence intensity, indicated the direction of alongshore sand transport to be southward, which was consistent with macroscopic analyses.

1. はじめに

宮崎市周辺の砂浜海岸で急激な侵食が続いている。近年の侵食は、大淀川北部の住吉海岸や南部の赤江海岸などで特に深刻であるが、定量的な報告例や調査事例は少ない。既往の研究には、海浜断面形や底質粒径を議論した吉高の研究(1971, 1978)、鉦物分析や固有関数解析に基づく李ら(1999)による研究、底質コアの年代分析に基づく三浦らによる研究(2003)、宇多(1997)による沿岸漂砂量の推定などがあるが、長期・広域的な視座に立って議論したものは少ない。

そこで本研究では、地形・地質特性の分析や貯水池堆砂を含む流砂系の土砂動態の分析に基づきマクロな地形特性を把握したうえで、伊能大図を含む古地形図・空中写真を用いた海岸長期変形過程を分析するとともに、熱ルミネッセンスを含む海浜底質の分析を実施し、これらを総合的・俯瞰的に検討することにより、急激な変形が進む同海岸の海岸侵食機構を解明することを目的とする。

2. 海岸線の変形過程

宮崎平野は段丘地形で特徴づけられる隆起性平野で、四つの河川が流入する堆積性海岸である。図-1に示すように、北部に山地・台地、南に行くほど広い沖積平野が広がり、南部の平野では縄文海進以後に海岸線が前進した(長岡ら, 1991)。図-1に一点鎖線で示したように、海水準が現在より約90m低かった1万5千年前から2万5千年前の時代の海岸地形を代表していると思われる沖合

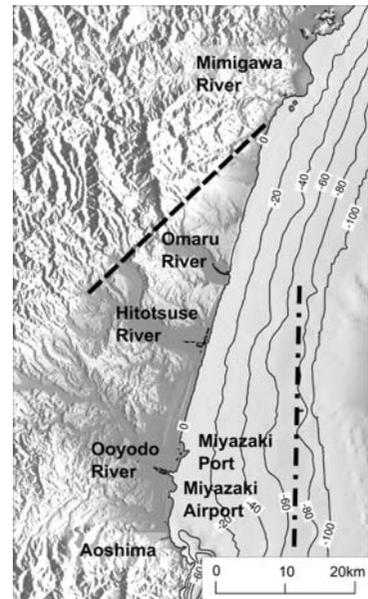


図-1 日向灘流砂系の地形特性

い70~80mの等深線は現在の海岸線より南部が張り出した地形となっている。この時代は約1万年以上もの間海水準が安定していたので、この沖合い地形は当時の平衡海浜形状を代表していると考えられる(当地域の地盤の隆起速度を考慮)。陸上地形の走向方向は図-1に破線で示したように南西から北東方向なのに対し、沖合いの海底地形は一点鎖線で示したようにほぼ南北に走向しており、北部が侵食されて南部へ堆積する海岸であり、沿岸漂砂は南向きと考えるのが自然である。現在の海岸線は南部の張り出しが十分ではなく、長期的には非平衡な海岸地形形成過程が継続中であると考えられる。

1 フェロー 工博 東京大学大学院 教授 工学系研究科 社会基盤学専攻
2 学生会員 東京大学大学院 工学系研究科 社会基盤学専攻修士課程

伊能大図 (1809年~1811年の測量, 日本地図センター, 2006), 明治の地形図 (1902年の測量), 終戦直後の空中写真 (1947年~1948年), 現在の地形図 (2000年~2003年の測量, 国土地理院二万五千分の一地形図) を重ね合わせ, 近年200年間の海岸変形過程を分析した。

現在の地形図を基準として, 伊能大図, 明治の地形図, 空中写真の重ね合わせを行った。明治の地形図と空中写真は, 主として南北方向に走っている大きい道路や宮崎神宮, 都農神社といった位置が変わっていないと考えられる点を基準に重ね合わせた。

伊能大図との重ね合わせに関しては, 標定点が少ないため, 約20kmごとに街道筋を基準に別々に重ね合わせを施すこととした。まず, 耳川から石並川にかけて, 耳川左岸とさらに北にある塩見川付近の街道を基準に重ね合わせた。次に, 石並川から一ッ瀬川左岸にかけて, 都農神社と南北方向の街道, 小丸川右岸側の高鍋の街道を基準に重ね合わせた。一ッ瀬川右岸からフェニックスゴルフ場にかけては, 伊能大図と現在の地形図の比較では, 標定点を見つけれなかったため, 明治の地形図を介して, 一ッ瀬川右岸の東西方向の街道を基準に重ね合わせた。最後に, ゴルフ場付近から青島にかけて, 青島と宮崎神宮, 宮崎神宮に通じる街道を基準に重ね合わせた。

図-2は伊能大図からの海岸線の位置の変化を示したものである。耳川から小丸川までの北部の海岸では, 平均で約100m侵食, 特に1902年までに大幅に侵食していたことが分かる。南部の海岸は, 一ッ瀬川から石崎川にかけての大きい侵食, 住吉海岸や南部の海岸における港湾や空港による地形の変化を除くと, 1809年から現在にかけてはほとんど変化していない, もしくは若干堆積していると言える。1902年までに一度侵食し, その後堆積傾向に転じ, 1947年以降は海岸線を維持している。小丸川から一ッ瀬川にかけては100m程度堆積している。

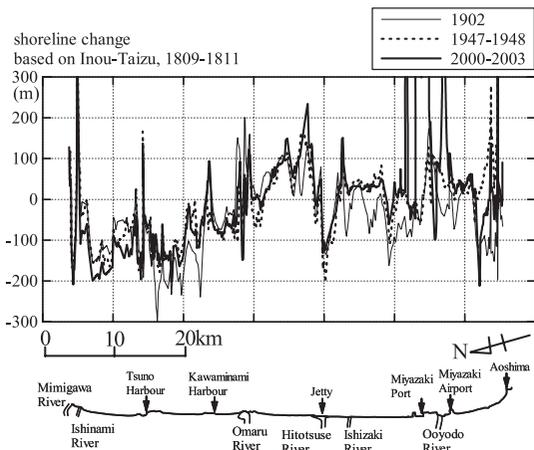


図-2 伊能図からの海岸線の変化

図-3に地形図を重ね合わせた一例を示す。まず, 左の図は北部の都農周辺の海岸線の変化を示したものである。伊能大図を現在の地形図に重ねあわせ, 約200年の変化を見た際に, 都農神社とその周辺を基準に重ね合わせると100m侵食している箇所が, 高鍋の街道を基準に重ね合わせた場合には侵食が50mとなる。このように, 基準点の取り方によって, 海岸線の位置が50m程度変化するため, この程度の誤差を含んでいることは念頭に置く必要がある。明治以後の地形図の誤差は格段に小さい。

耳川から川南漁港にかけての北部海岸では, 1809年頃から1902年の間に100~200m侵食している。現在までに耳川から都農川にかけては50m侵食, 名貫川から川南漁港にかけては50m堆積といった変化は見られるが, 明治以降は変化していない箇所が多く, 全体として200年間で100~200m侵食している。

次に, 図-3右の図は大淀川河口周辺の海岸線の変化を示したものである。石崎川から青島にかけては, 侵食・堆積を繰り返し, 大淀川より北側の現在最も侵食の激しい住吉海岸は明治の地形図と比較すると堆積している。大淀川より南側はほとんど変化していない。大淀川河口は, 1947年頃までは砂州が発達している。しかし, 宮崎

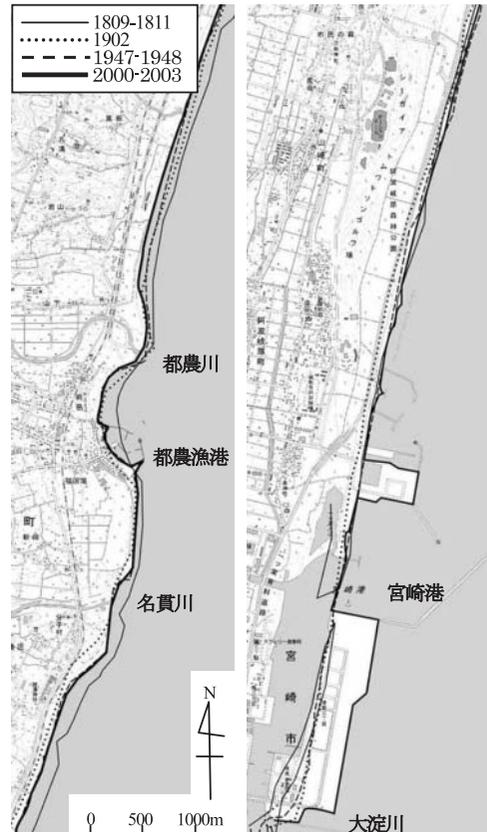


図-3 地形図の重ね合わせ (都農 (左), 大淀川河口北部 (右))

港において、1973年より砂州を切り開いて大型港湾を建設する港湾計画が進められてから、砂州は消滅し、著しい地形変化が見られるようになった。

さらに、図は示していないが、川南漁港から小丸川にかけては、1809年頃から1902年の間に50m程度、1947年頃までにも若干侵食しているが、現在までほとんど変化していない。小丸川河口右岸側は、1809年頃から1902年の間に100~200m堆積し、1947年頃には100m程度侵食しているが、現在までその海岸線位置を維持し、伊能大図の頃よりは堆積している。一方左岸側は、侵食・堆積を繰り返しているが、伊能大図の頃と海岸線はほとんど変化していない。

小丸川から一ッ瀬川にかけては、1809年頃から1902年の間に100m程度堆積しているが、その後はほとんど変化していない。一ッ瀬川河口は堆積傾向にあり、1809年頃から1902年の間に100m程度、1947年頃までに50m程度、現在までに50~100m程度堆積している。一方、一ッ瀬川から石崎川にかけては、1809年頃から1902年の間に100m程度侵食している。その後は、ほとんど変化しておらず、伊能大図の頃より100m程度侵食している。

全域で平均すると、侵食量が堆積量を超えていることから、沖合いへの土砂流出が卓越する海岸であることが分かる。また、図-4は四河川の勾配を示したものである。下流部においても小丸川、一ッ瀬川は、特に急勾配であり、河川からの土砂供給が多いことが伺える。しかし、明治以後の急速かつ人工的な宮崎市街地の開発、電源開発などを目的とするダム群の建設による流砂遮断が著しい。芦田・奥村(1974)と同様に貯水池の比堆砂速度を整理すると、天竜川、黒部川等に次いで比堆砂速度の多い地域であることが確認できる(図-5)。その結果として貯水池の堆砂は進んでおり、例えば小丸川では、図-6に示したように堆砂が進み、堆砂量は約31万m³/年である。また、耳川、一ッ瀬川、大淀川もそれぞれ約51万、50万、

56万m³/年と多量の堆砂が進み、四河川合計20基のダムの貯水池堆砂量は約190万m³/年で、天竜川水系佐久間ダムの堆砂量とほぼ同オーダーであることが確認された。さらに、港湾・空港などの沿岸構造物が建設され、漂砂機構が変化したことにより、南部海岸の侵食が近年顕在化したと考えられる。

3. 現地調査と海浜砂の分析

2009年1月31日から2月1日にかけて、耳川から青島までの約70kmの区間において、満潮汀線付近で、熱ルミネッセンス(Thermoluminescence)信号強度測定用の非露光状態の砂試料と粒度分析用の露光状態の砂試料を採取した。また、いくつかの地点では表層の砂礫の状態を写真として記録した。

(1) 粒度分析

表層の礫を撮影した写真を写真-1に示す。また図-7の(1)から(6)の番号は、これらの写真の撮影位置を示している。北側から比較していくと、礫の形状は主に扁平な形から球形に、礫の粒径は大きいものから小さいもの

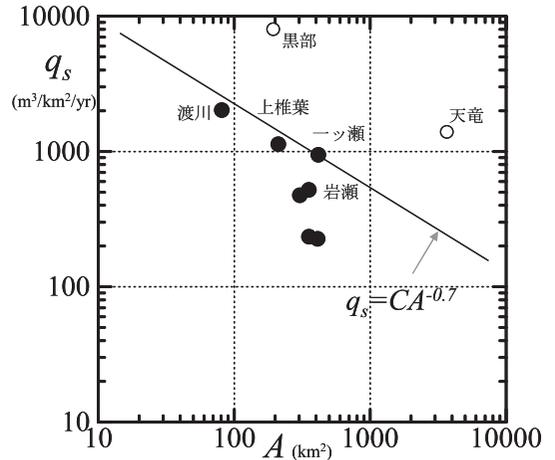


図-5 大淀川、一ッ瀬川、小丸川、耳川各流域の貯水池比堆砂速度

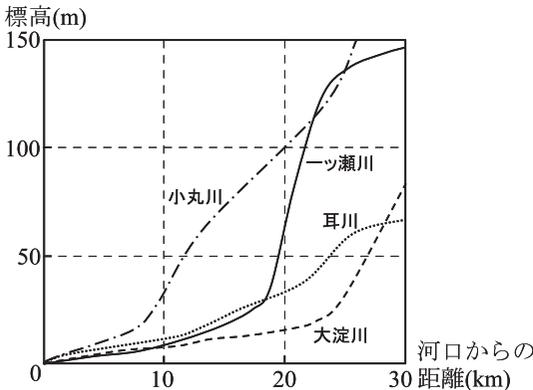


図-4 大淀川、一ッ瀬川、小丸川、耳川各河川の下流部縦断地形

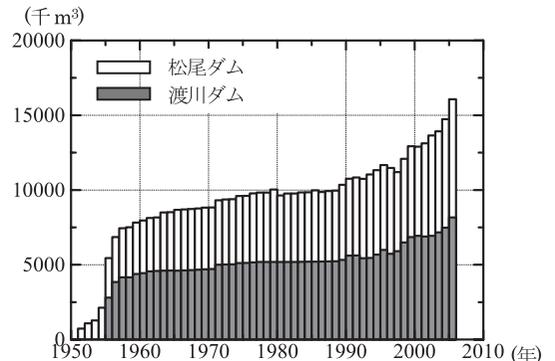


図-6 丸川流域の貯水池堆砂量の変遷

のに、礫の量は表層すべてを覆う程度から砂の上に礫が散在する程度、わずかに礫が点在する程度、と変化している。礫は河川から供給されるので、これらの地点では河川からの砂礫供給が卓越していることが伺える。また南にいくにつれ、礫は球形で小さく、少量となることから、礫は南向きに運ばれていると考えられる。

次にふるいわけによる粒度分析の結果と吉高 (1978) による分析結果を重ねたグラフを図-7に示す。粒径などはφ値で示している。今回の分析では、ふるいの目は16mm, 8mm, 4mm, 2mm, 1mm, 850μm, 500μm, 250μm, 180μm, 75μmを用いた。また粒度分析に用いた砂試料は、基本的には満潮汀線付近の表層下約10 cmの砂を採取したが、表層が礫の場合は礫層の下や礫の間隙の砂層から採取した。採取地点によって、一部礫が含まれており、採取量もおよそ20gから130gとばらつきがあるが、すべての地点で全量分析を行い、結果として分析した砂礫の粒径はすべて16mm以下であった。

図-7から、耳川から小丸川付近までの北部海岸では南に向かうにつれ平均粒径が小さくなっており、標準偏差からも同様に南に向かうにつれ均一化されていることがわかり、全体としての沿岸漂砂は南向きと考えられる。南部海岸では、大淀川などの河口部で平均粒径と標準偏差が大きく、両方向に漸減する傾向があることから、河口からの漂砂が大きく、正味の沿岸漂砂はほぼゼロといえる。今回の粒度分析と吉高 (1978) による分析とで同様の傾向が見られることから、全体的な沿岸漂砂の傾向はここ30年程度では変化はないといえる。また、図-7の

43km付近で平均粒径、標準偏差ともに大きなピークとなっている点が見られるが、その地点が大淀川などの河床砂を用いた養浜工の施工区間であるためである。

(2) TL信号強度による分析

Thermoluminescence (以下TL) とは、石英や長石粒子が自然放射線被爆することによりエネルギーが蓄積され、その後熱を加えることによって蓄積されたエネルギーが光として放出されることであり、その光の強度をTL信号強度と呼ぶ。また、自然状態では日光によって露光することでTL信号強度が減少するため、砂粒子では土砂輸送過程において露光されることでTL信号強度は小さくなる。そのため、TL信号強度が小さい砂ほど、長時間輸送されてきた砂であるといえ、土砂輸送方向はTL信号強度が減少する方向と同じであり、減少割合が大きい

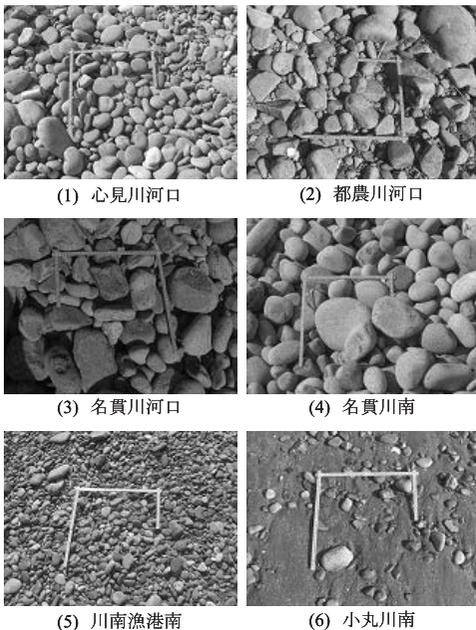


写真-1 表面礫層の写真

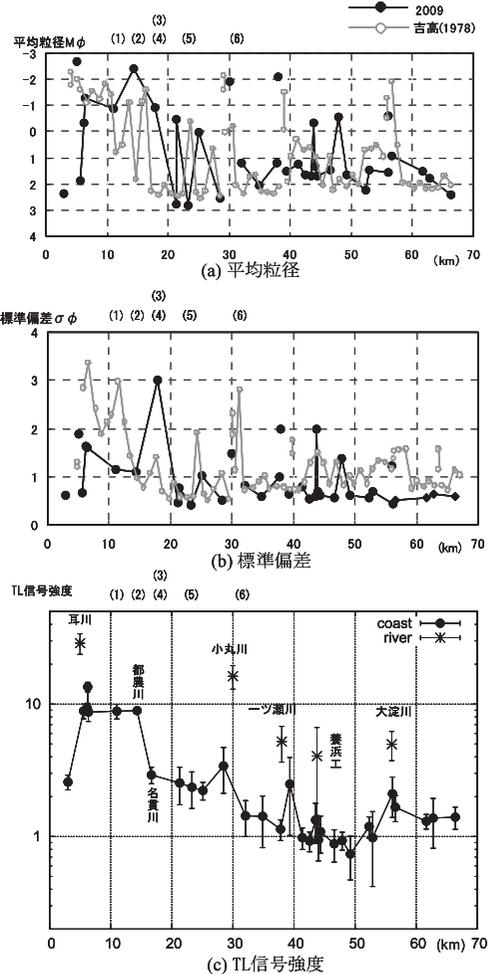
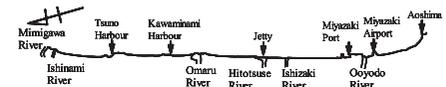


図-7 汀線表層底質の分析結果



いほど土砂移動速度は遅いといえる（小川ら，2009）。

測定した砂試料は，粒度分析に用いた露光試料と同じ採取場所に黒色フィルムケースを突き刺すという手法で約40gの非露光試料を採取した。試料は暗室において180～300 μ mの細砂成分をふるいにより抽出し，重液を用いて長石粒子を抽出し，直径1cmのディスクに単層で固定し，Riso TL/OSL Reader DA-20でTL信号を測定した。測定方法は小川ら（2009）と同様の方法を取り，一地点あたり4枚のディスクを作成し，平均値をとってTL信号強度とし，標準偏差を測定誤差とした。

TL信号強度測定結果（図-7）を見ると，北から南にTL信号強度は減少しており，全体的な沿岸漂砂は南向きといえる。ただし，河口では，河口から南北両方向に減少しており，河口から南北両方向への漂砂があるといえる。この傾向は特に大淀川で顕著である。また養浜工区間では，TL信号強度が大きい河床砂が養浜に用いられているため，TL信号は大きくなっている。そのTL信号の差異から，今後の養浜土砂の追跡に利用することも考えられる。これらの結論は粒径分析からも同様の結果が導かれているが，TL信号強度ではより明らかに見て取ることができる。

次にTL信号強度のみから推定できる結果を示す。まず都農川と名貫川の間でTL信号強度が急激に変化していることがわかる。TL信号強度が急激に変化する理由としては，土砂輸送形態の変化と土砂供給源の変化が考えられる。都農川や名貫川の土砂供給量は，流域面積などから耳川などに比べ小さいと思われ，土砂供給源の変化によってこれほどのTL信号強度の変化は起こらないと考えられる。土砂輸送形態の変化については，考えられるものとして，図-3（左）に見られるように都農川と名貫川の間には岬があり，その北側にはポケットビーチのような形状をした地形があるため，土砂はこの地点で堆積して一定期間保持され，その間に露光が進むことでTL信号強度が減少することが考えられる。また図-3から都農川より北側では激しい侵食傾向が続いていることがみとれ，侵食によって露光されていない古い時代の砂層が表層に現れることで，都農川より北側ではTL信号強度が大きいと考えることができる。

名貫川から南側では，養浜工を過ぎた地点まで河川の影響を無視するとほぼ一定の割合でTL信号強度が減少している。これは土砂移動の距離と砂の露光度合いの割合が一定ということであり，名貫川から南へはほぼ一定の沿岸漂砂があるといえる。養浜工より少し南（図-7，50km周辺）では，北からのTL信号強度の減少と大淀川河口からのTL信号強度の減少が交わり，TL信号強度が最小となっており，北からの漂砂と大淀川からの漂砂の両方の土砂が輸送されていると考えられる。つまりこの

地域は，沿岸漂砂が南北両方向とも土砂が供給される方向であるので，もともと堆積性海岸であるといえ，これは明治の地形図との比較結果（図-2）とも整合している。同地域は現在最も侵食の激しい地域であるが，これは周辺海岸からの土砂供給量が減少した場合，その影響を最も強く受けるためと考えられる。

4. おわりに

日向灘流砂系において，古地図，貯水池堆砂量および海浜砂のTL強度を分析することにより，以下の結論を得た。

- (1) 伊能大図などの地形図などを分析した結果，宮崎平野の海岸は，小丸川以北の海岸は大きく侵食，南部海岸はわずかながら堆積傾向にあることが分かった。
- (2) 河川からの供給土砂は，貯水池への堆砂や宮崎市街地を始めとする開発に伴う治水対策などにより，著しく減少している。
- (3) 汀線底質の粒度分析とTL信号強度計測により，南向きの沿岸漂砂が卓越しており，名貫川以南ではその漂砂量はほぼ一定であることがわかった。
- (4) 南向きの沿岸漂砂と河口からの漂砂の供給が及ぶ範囲が明らかになった。
- (5) 養浜工区間ではTL信号強度が他と異なって大きいことから，TL信号強度による養浜砂の追跡可能性が示された。

謝辞：本研究の一部は平成21年度河川整備基金助成事業（助成番号：21-1213-005）による研究成果である。また，流砂系の貯水池堆砂資料は宮崎県から提供いただいた。記して謝意を表する。

参 考 文 献

- 芦田和男・奥村武信（1974）：ダム堆砂に関する研究，京都大学防災研究所年報，第17号B，pp. 555-570。
- 宇多高明（1997）：日本の海岸侵食，山海堂，442 p。
- 小川裕貴・劉海江・高川智博・佐藤慎司（2009）：長石の熱ルミネッセンス特性から推定した広域的な土砂移動特性，海岸工学論文集，第56巻，投稿中。
- 財団法人日本地図センター（2006）：伊能大図総覧，河出書房新社，512 p。
- 長岡信治・前李英明・松島義章（1991）：宮崎平野の完新世地形発達史，第四紀研究，30（2），pp. 59-78。
- 三浦一浩・川元壊二・鳥居謙一・山本幸次（2003）：重鉱物分析と放射年代測定との組み合わせによる住吉海岸の堆積環境の推定，海岸工学論文集，第50巻，pp. 566-570。
- 吉高益男（1971）：大淀河口付近の海底変化について，第18回海岸工学講演会論文集，pp. 423-429。
- 吉高益男（1978）：日向灘海岸の漂砂について，第25回海岸工学講演会論文集，pp. 274-278。
- 李在炯・入江功・小野信幸・村上啓介（1999）：底質分析による広域の漂砂特性調査法について，海岸工学論文集，第46巻，pp. 656-660。