

波向の季節的変動場における海浜変形の実測とその予測

OBSERVATION AND PREDICTION OF SHORELINE CHANGES CAUSED BY SEASONAL VARIATIONS OF WAVE DIRECTIONS

星上幸良¹・三浦正寛²・宇多高明³

Yukiyoshi HOSHIGAMI, Masahiro MIURA and Takaaki UDA

¹正会員 博(工) 国際航業(株) 防災統括部(〒183-0057 東京都府中市晴見町2-24-1)

²正会員 工修(株) 水域ネットワーク(〒134-0083 東京都江戸川区西葛西6-8-10 6F)

³正会員 工博(財) 土木研究センター理事なぎさ総合研究室長兼日本大学客員教授
理工学部海洋建築工学科(〒110-0016 東京都台東区台東1-6-4 タカラビル)

Shoreline changes caused by the seasonal variations of wave directions were investigated, taking a pocket beach surrounded by Taito Point and the mouth of the Isumi River as an example. The comparison of shoreline changes determined from the aerial photographs shows that the shoreline in this area has retreated in the long term. At the same time, dominant seasonal variations corresponding to the changes of wave directions were observed. The mechanism of this variation was analyzed using the contour-line-change model. It was concluded that these seasonal changes in shoreline position between Taito Point and the mouth of the Isumi River triggered an intermittent sand transport over the cliffy coast of Taito Point to the Kujukuri coast during summer wave condition.

Key Words : Seasonal variation of shoreline, aerial photograph, contour-line-change model

1. はじめに

海浜の長期的変化予測に際しては、予測期間と同程度に及ぶ長期間にわたる海浜変形を実測データをもとに明らかにし、それを検証データとして予測モデルの再現性を調べることが必要となる。このとき一般の海岸にあっては、過去から長い年月にわたって深淺測量が繰り返されることは稀であり、その場合空中写真をもとに定量化された汀線変化を基礎としてモデルの再現性を調べる手法が多用される。この方法の有効性は高いものの、一般に空中写真の撮影間隔は数年と長く、また撮影時期が撮影に有利な快晴日数の多い季節に限定されることなどにより、空中写真に写された汀線が現実の変動をどの程度代表するかは明らかではない。この場合、実際には季節的な波向変動があったとしても空中写真にはそれらが顕著な形で残されないから、それらを見逃す恐れがあり、結果として海浜変形量を過小評価する危険がある。本研究では、時間的に疎な間隔で撮影された空中写真の比較のみでは捉えられない現象として、波向が季節的に変動する場で間欠的に起こる、

岬を越える漂砂を夷隅川の河口部海浜で調べるとともに、等深線変化モデルによりその機構解明を行う。研究対象の太東崎～夷隅川河口の海浜では近年植生帯の海側に浜崖が生じ、汀線の後退も著しい。このことからまず、1947～2004年撮影の空中写真の比較から長期的な汀線変化を調べ、また汀線の季節変動を明らかにするために太東崎頂上から季節の異なる4時期に海浜の斜め写真撮影を行った。さらに現地踏査により浜崖形成を含む現地状況を調べ、海食崖に隣接する海浜の土砂が崖の後退と汀線の季節変動とによって九十九里浜に供給される機構を等深線変化モデル¹⁾により再現する。

2. 空中写真比較による海岸線の長期的変遷調査

研究対象地域は、図-1に示すように千葉県岬町の太東崎から大原漁港にかけて広がる日在浦海岸の北端部近くに位置する夷隅川河口北側海浜である。日在浦海岸は延長約5kmの砂浜海岸であるが、夷隅川の左岸導流堤と太東崎の間の約1kmの海浜は、かつての夷隅川の河口砂州であり、幅約300mの砂州の陸側にはラグーンが残されている。この海浜では近年

植生帯の海側に浜崖が生じるようになり、全体にその後退が著しい。

図-2は、国土地理院撮影の空中写真をもとにした1947年から2004年まで57年間の海岸線の変遷である。1947年では、夷隅川は太東崎の海食崖の南端部から太平洋へと流れ出ていた。南側から長さ約1km、先端部の幅が約90mの長大な河口砂州が河口を塞ぎつつ伸びていた。河口砂州の沖側には細長い碎波帯が汀線と平行に伸びていたが、碎波点位置を連ねる線は太東崎の先端部とほぼ同様か、あるいはそれより沖に位置していた。このことは1947年当時、夷隅川河口周辺の土砂が北向きの沿岸漂砂の作用によって太東崎を越えて北側へと流出しうる条件下にあったことを意味する。太東崎の北側に延びる九十九里浜の漂砂源の南端は従来太東崎の海食崖と見られてきたが、上述の結果は太東崎の南側に流入する夷隅川からの供給土砂もまた九十九里浜へと供給されていたことを強く示唆する。この点は、星上ら²⁾の指摘と一致している。

1966年では、1947年当時北向きに細長く伸びていた河口砂州のほぼ中央部に水路が掘削され、左岸には河口固定のための導流堤が建設された。これと同時に太東崎に隣接して開いていた河口は堆砂のため自然に閉じた。1947年には日在浦南部から太東崎まで緩やかに湾曲しつつ連続的に伸びていた汀線が、導流堤の建設後海岸線の曲率が減少し、太東崎と導流堤との間でほぼ直線状の汀線となった。またこの間海浜では土砂量が増加し、導流堤基部位置での浜幅は、導流堤建設前の69mから118mへと広がった。

1980年には左岸導流堤が約120m斜め沖向きに延伸された。導流堤が斜めに伸びたこと、また導流堤が南向きの沿岸漂砂を阻止するという両方の効果が現れた結果、右岸導流堤の南側隣接部の汀線が凹状となった。またこの時期汀線は河口位置で二分された。さらに左岸導流堤と太東崎間の海浜面積は1966年と比較して $3.6 \times 10^4 \text{m}^2$ 増加した。

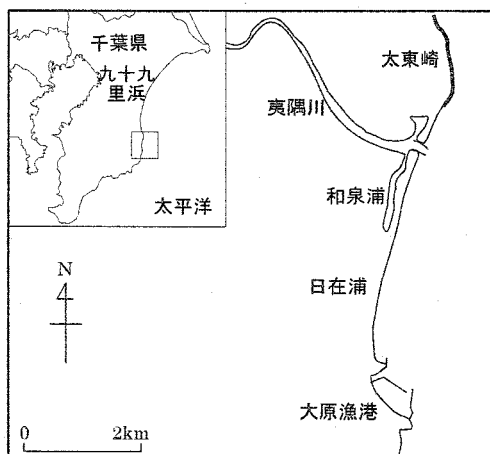


図-1 研究対象地域（夷隅川河口北側海浜）

1998年では、右岸導流堤が延伸されるとともに河口南側には離岸堤群が建設された。この結果個々の離岸堤背後には舌状砂州が形成された。この間も左岸導流堤の北側区域では海浜面積が増加し、1998年には $9.0 \times 10^4 \text{m}^2$ となった。

2004年では、左岸導流堤と太東崎の間の海浜は1998年と大きな違いはないが、1947年と比較するとこの海浜の平均的な碎波点位置は太東崎の先端より明らかに陸側となり、夷隅川からの流出土砂が太東崎を越えて北側へと流出しにくい状態となったことが分かる。海岸線と太東崎の相対位置から判断すれば、太東崎の海食崖の崩落土砂はむしろ南側へと逆流する条件になったと推定できる。

3. 太東崎頂上からの斜め写真による汀線変動調査

図-2に示した夷隅川河口部の空中写真の変遷によれば、1947年には夷隅川は大きく北向きに蛇行し、太東崎に接するようにして太平洋に注いでいた。そして砂州の汀線は太東崎より沖に突出していた。しかし河口導流堤の建設後、左岸導流堤と太東崎の間

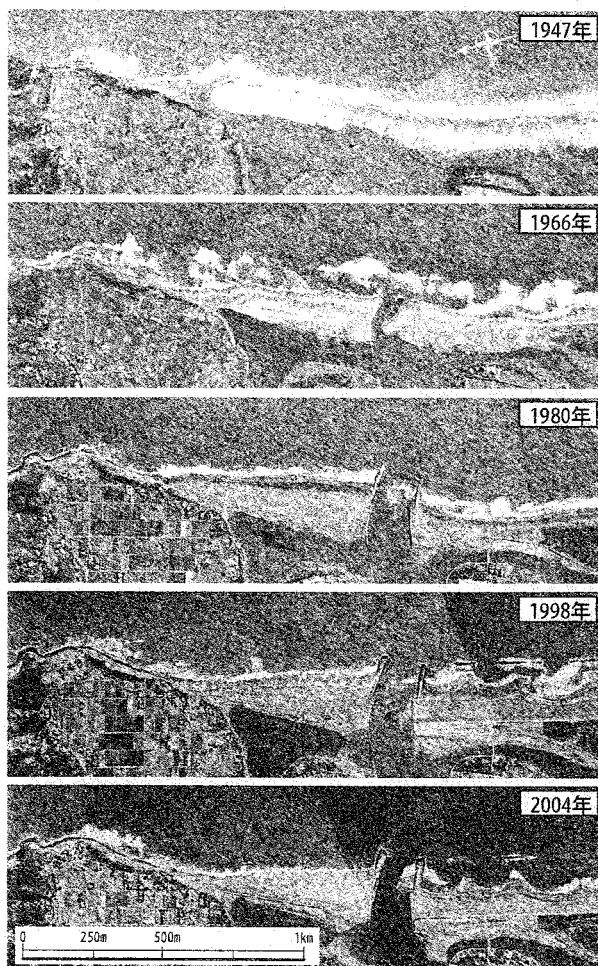


図-2 夷隅川河口部の空中写真の変遷

の海浜はポケットビーチ化された。図-2のみ見るとこの間の汀線変化が時間的に単調に生じたように見える。しかしこれらの空中写真の撮影間隔は6年以上と長いので、空中写真からは短期変動特性を調べることができない。実際には季節的変動を含む汀線の短期変動が起きている可能性もある。そこで、研究対象区域の北に位置する標高約60mの太東崎山頂から当該区域の写真撮影を行い、汀線の短期変動を調べた。

図-3(a), (b), (c), (d)は、太東崎頂上から冬季(2004年1月23日)、夏季(2004年8月19日)、春季(2005年5月21日)、冬季(2006年1月16日)の順に対象海浜を撮影したものである。中央に見えるのが夷隅川河口導流堤である。冬季撮影の図-3(a)と春季撮影の図-3(c)では、汀線が太東崎側から導流堤へと滑らかに延びているのに対し、後浜形状は夷隅川左岸導流堤の北側隣接域でV字状となり植生帯に大きく食い込んでいる。植生帯への食い込み量は導流堤の隣で最大であり、導流堤から北向きに離れると小さくなる。しかし図-3(c)の海浜中央部の点Pより手前(北)側では再び砂浜幅が広がる。これらと対照的に、夏季撮影の図-3(b)では波が大きく南側から斜め入射し、この結果図-3(c)に示したPと河口導流堤の間で汀線が大きく後退している。そして図-3(a), (c)で見られた後浜は完全に消失している。同じ冬季撮影の図-3(d)は陸が雪で覆われているので後浜付近の区別は付かないが、左回りの方向からの波浪の作用が著しかったために同じ冬季撮影の図-3(a)よりも北部での汀線後退が著しくなっている。

以上のように、対象区域では空中写真のみから判断すると単調な汀線変化が起きたように見えたが、実際は季節的に大きな汀線変動があり、これが対象海岸の安定性や太東崎を越えて九十九里浜へと向かう漂砂にも大きく影響を及ぼす可能性がある。そして、観察結果は、冬季に左回りからの波の入射が著しくなるとほぼ閉じた漂砂の系の中で南向きの沿岸漂砂が生じ、夷隅川左岸導流堤を固定境界とした海浜変形となるが、夏季に右回りの入射となると逆モードの汀線変化となることを意味する。これらの汀線変動が重なった結果、両端固定境界の中央部で最も植生帯幅が広く、そこから両端へと植生帯幅が狭まるという観察結果が得られたと考えられる。

4. 海浜の現地状況確認

2005年5月21日、海浜状況を確認するための現地踏査を行った。図-4は、図-3(c)では左端付近に見える3階建の家屋の前面から夷隅川河口導流堤方向を望みつつ撮影したものである。右端にはコンクリート護岸が直線的に延びており、それに隣接して砂浜が広がる。中央にはバームが形成されており、前浜勾配は約1/10であるが、バーム頂より陸側の勾

(a) 2004年1月



(b) 2004年8月



(c) 2005年5月



(d) 2006年1月



図-3 太東崎からの斜め写真

配は緩やかになり、バーム頂を越えた海水が浸透しながら陸側へと侵入したことを表す模様が各所で観察される。現況の汀線付近は、バームの形成状況から明らかなように堆積傾向にあるが、砂浜背後には連続的な浜崖を望むことができる。

浜崖に沿って移動しつつ図-4のA、B点で浜崖状況を撮影したのが図-5、6である。A点での浜崖は約1mと相対的に低いが、B点に接近すると浜崖の高さは約1.4mまで増加する。いずれの浜崖にあっても浜崖基部には安息勾配に近い斜面が形成されていることから、過去に北東側からの入射条件となった際汀線が浜崖基部まで大きく後退したが、その後再び汀線が前進して前浜が復元されたことが分かる。また、その間浜崖上部からの土砂崩落が続いて浜崖の安定化が進んだと考えられる。

図-7は、図-6の撮影地点より夷隅川河口側へと移動し、P点以南での浜崖形成状況を撮影したものである。ここでの浜崖の高さは約1.8mとP点以北と比較して比高が高まっている。同様にして図-7のC点の浜崖形成状況が図-8である。図-7では浜崖の露頭面にそれほど多くの植生の繁茂が見られなかったが、ここではハマヒルガオなどの植生が安定化した斜面上で繁茂しつつある。また図-7に示した地点では浜崖前面は細砂で覆われ平坦であり、貝殻片が多く打ち上げられている。このことより、浜崖が形成された後再び砂が堆積しつつあると判断できる。さらにP点以南では安定化が進んだ浜崖の斜面上に植生が繁茂しつつあったのに対し、北側ではまだ斜面の安定化が進行中であって、植生の繁茂がないことから、P点以南での浜崖が先に形成され、その後波向変動とともに北側海浜で浜崖侵食が進んだと考えられる。

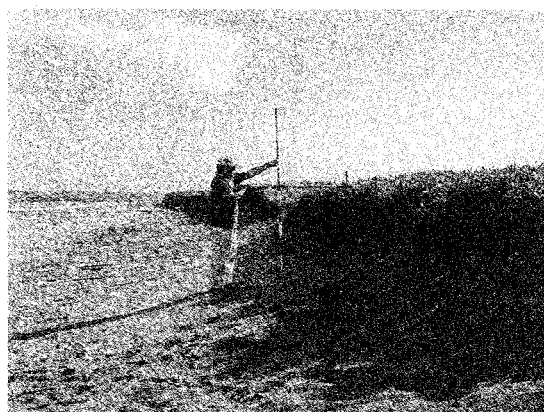


図-5 A点での浜崖状況（浜崖の高さは約1m）



図-6 B点での浜崖状況（浜崖の高さは約1.4mまで増加）



図-7 P点以南での浜崖形成状況（浜崖の高さは約1.8m）

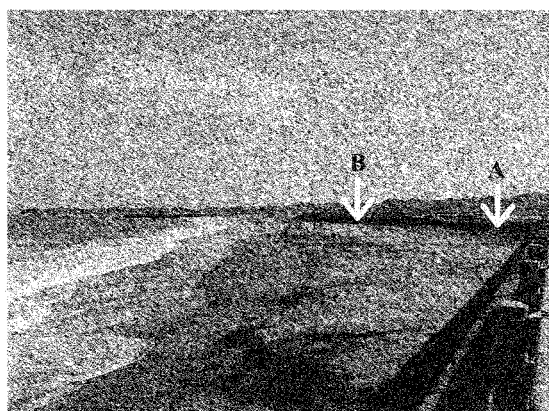


図-4 太東崎側から夷隅川河口導流堤方向を望んだ海浜状況写真

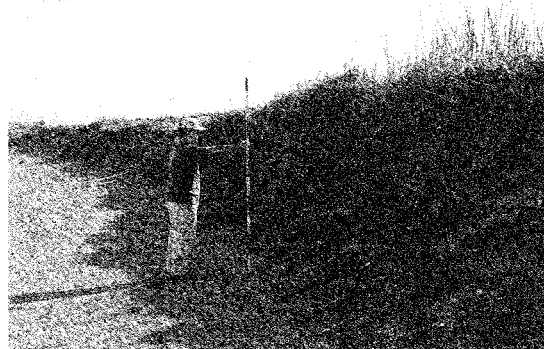


図-8 C点の浜崖形成状況

5. 等深線変化モデルによる海浜変形の再現

現地踏査および空中写真の解析から、夷隅川河口周辺の海浜は季節変動を有すること、また南寄りの波が入射すると太東崎前面では北向きの沿岸漂砂が生じることが分かった。さらに1947年の空中写真では、海食崖に隣接する海浜の汀線位置は海食崖前面とほぼ連続していた。このことから、かつては夷隅川河口周辺の海浜土砂は九十九里浜に供給されていたものと推察される。そこで海食崖に隣接する海浜の土砂が、崖の後退と汀線の季節変動とによって九十九里浜に供給される機構について等深線変化モデルを用いた再現計算を行った。

計算には芹沢ら¹⁾の等深線変化モデルを用いた。図-3の観察結果によれば、太東崎の南側に隣接する夷隅川河口導流堤の北側海浜では、南北に大きく傾いた2方向からの波浪が入射し、互いに逆方向の沿岸漂砂が生じる条件下にあると考えられる。つまり夏季の南寄り、冬季の北寄りの波が交互に入射していると考えられる。そこで、図-9に示すように初期地形を全長2km、平衡勾配1/20の仮想海岸を考え、その中央に太東崎を模擬した突堤を設置し、また太東崎北側の九十九里浜 ($x=0\sim1\text{km}$) では、夷隅川左岸海浜の平均汀線に対し汀線および等深線を全体に300m陸側に後退させた海浜形状とし、太東崎を越えて流れ込む沿岸漂砂の堆積を許した。また波による地形変化の限界水深は芹沢ら³⁾と同様に $h_c=-9\text{m}$ 、バーム高 h_R は2mとした。

図-10は、片貝漁港沖水深10mに設置された波高計により観測された来襲波浪の季節別の波浪分布図である。これによると、卓越波向は春から夏にかけてはSSEとSE、秋から冬にかけてはESEである。また、波高については0~2mのものが圧倒的に多い。そこで、図-2に示した空中写真の汀線への法線方向は $N+120^\circ E$ であるから、計算軸に対して右回り (10°) と左回り (-10°) の波の入射頻度を1:1とし、入射波高については、0~2mの中間値である1mを入射させた。太東崎が位置する1km地点には岬を模擬した先端水深3mの突堤を設置した。なお堀川・砂村⁴⁾によれば、太東崎の海食崖の後退速度はほぼ0.7m/yrと与えられるので、この後退速度を考慮して突堤先端位置を経時的に後退させた。また、現地波浪は不規則波であって、波高ごとに出現頻度が変わり、岬の先端水深との関係も様々変化するが、ここでは長期的な地形変化の予測に重点をおくため、入射波高や岬の先端水深は一定値とした。

計算結果を図-11、12に示す。図-11は5.0年後の北寄り波浪を与えた直後、図-12は5.5年後の南寄り波浪を与えた直後の計算結果である。図-11、12を比較すると、太東崎の南側の海浜土砂は南寄りの入射波条件下で太東崎の先端を超えて北側へと流出し、北側の海浜（実際は九十九里浜）に堆積する。斜め

入射波に対し太東崎の突出量が小さいために、沿岸漂砂の阻止効果はあまり高くない。各計算区域の北部には陸側端に浜崖を伴いつつ標高 h_R の平坦面が形成される。太東崎の南側の海浜では図-10、11いずれの場合にも、前浜と背後地を区切って浜崖が形成され、海浜の中央部でピークを持った三角形状となる。この結果は太東崎頂上からの斜め写真と現地写真の特徴とよい一致を示す。

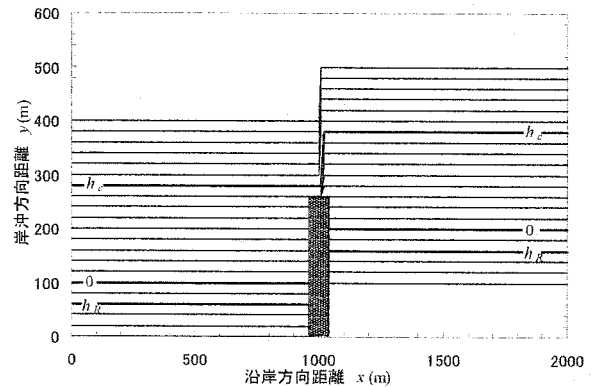


図-9 計算のための初期地形（全長2km、平衡勾配1/20）

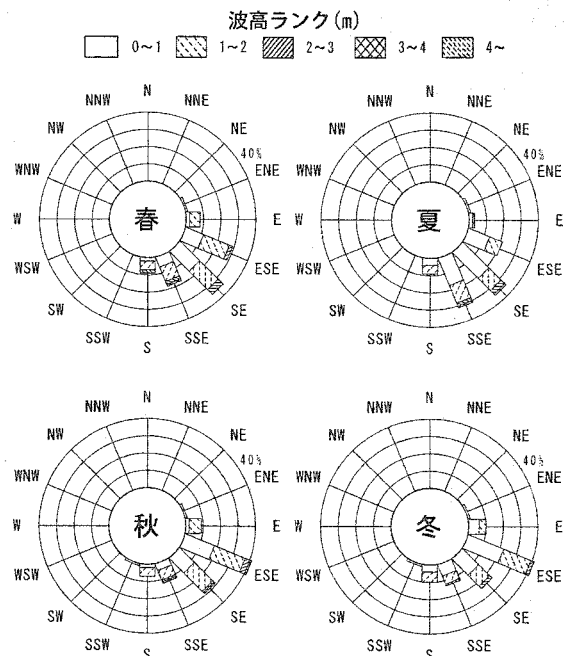


図-10 片貝漁港沖の波浪の頻度分布

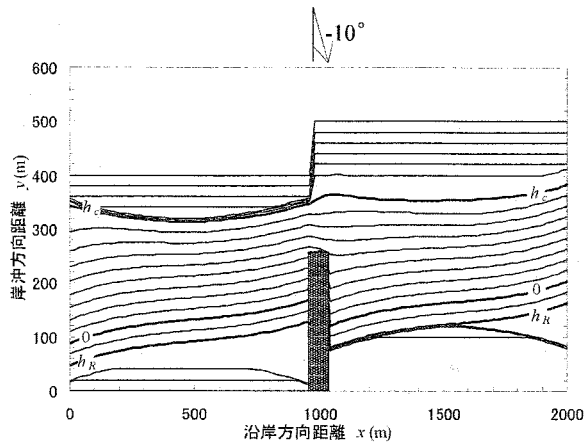


図-11 等深線形状の予測結果（5.0年後：北寄りの入射波を与えた直後）

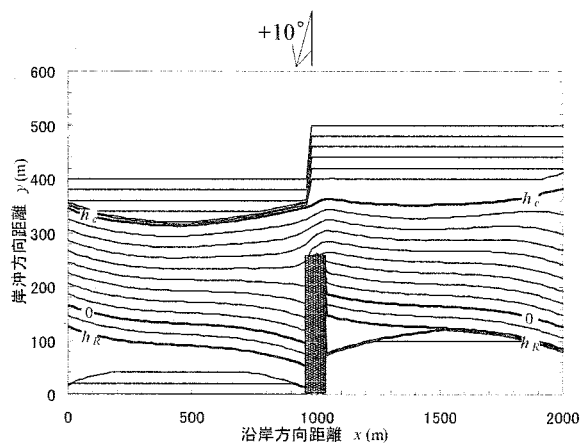


図-12 等深線形状の予測結果（5.5年後：南寄りの入射波を与えた直後）

6. まとめ

夷隅川河口周辺海岸において、現地踏査や空中写真の解析により季節的な海浜変動特性を見出し、それを海浜に隣接する海食崖の後退と海浜の季節変動を考慮した等深線変化モデルにより説明した。太東崎の南側では前浜と背後地を区切って浜崖が形成され、浜崖を結ぶ線は海浜の中央部でピークを持ったV字状となっている。これは波向変動に伴うものである。これは従来の空中写真による長期的な汀線変化比較では判読できない現象である。太東岬以南の海浜砂は、太東崎の海蝕崖の後退に伴う北側への流出だけではなく、波向変動に起因する汀線変化に伴い夏季の南側からの入射時に太東崎を越えた北側への流出が起きたと考えられる。

参考文献

- 1) 芹沢真澄，宇多高明，三波俊郎，古池 鋼，熊田貴之：海浜縦断形の安定化機構を組み込んだ等深線変化モデル，海岸工学論文集，第 49 巻，pp.496-500，2002.
- 2) 星上幸良，宇多高明，野志保仁，小澤広樹：九十九里浜の形成にかかわる土砂供給源に関する一考察，海洋開発論文集，第 22 巻，pp. 403-408，2006.
- 3) 宇多高明，高田 修，星上幸良，芹沢真澄，三波俊郎，古池 鋼：九十九里海岸における地質年代スケールの沿岸漂砂量の推定，海岸工学論文集，第 49 巻，pp.686-690，2002.
- 4) 堀川清司，砂村継夫：千葉県屏風ヶ浦の海岸侵蝕について，（3）-航空写真による海蝕崖の後退に関する研究・第4報-，海岸工学論文集，第 19 巻，pp.13-17，1972.