

茨城県北部大津漁港～高戸海岸における
広域海浜地形変化の現地観測

司代 明*・川村 哲也**・田中正博***
大熊義夫****・宇多高明*****

1. ま え が き

近年、各種海浜変形モデルが開発されているが、これらの海浜変形モデルの予測精度の向上のためには現地海岸における十分な検証データの取得が必要とされる。しかも長期的な時間スケールで見た海浜変形に関する情報だけでなく、台風等、高波浪時の短期的な海浜変形の情報と合わせてそれらの関係について十分検討することが求められる。一方、比較的浅海の海底表面に露岩域が存在することから、海浜変形モデルにおいて砂浜海岸と異なった取り扱いをしなければならない場合も多い。本研究では、茨城県北部に位置する大津漁港から高戸海岸の海岸域を対象として、これらの問題について現地観測により検討するものである。当該海域において深淺測量を繰り返し行うとともに、サイドスキャンソナー・音波探査による海底地質調査など、各種の現地観測を実施した。観測期間中1993年8月27日には台風11号が来襲し、これに伴う $H_{1/3}=8.62\text{ m}$ という高波浪により著しい海浜変形が生じた。そこで、このときの短期的な海浜変形と、空中写真や深淺測量データに基づいた長期的な海浜変形の関係について考察する。また海底地質調査結果から、当該海域を覆う広い露岩域およびそれらの間に発達する埋積谷について明らかにすることとする。

2. 観測区域の概要

各種観測を行ったのは図-1に示す茨城県北部に位置する大津漁港から高戸まで、延長約14 kmの砂浜海岸である。観測区域の北端には岩石海岸である五浦海岸があり、その南側の付け根には大津漁港が位置している。また南端の高戸海岸も岩石海岸であって、そこで沿岸漂砂の移動は阻止されている。従って図-1に示す範囲は、沿岸漂砂の移動から見て一つの漂砂系をなしている。図-1中には、地先海岸名と主な海岸施設が表記されている。北側の大津漁港には1947年頃から建設が進められた延

長約1,100 mの防波堤が伸びている。また磯原海岸には5基の離岸堤(堤長150 m, 開口幅100 m)が設置されており、その北側に隣接して二ツ島が存在し、南側には下桜井海岸との境界を分ける岬状の岩礁(天妃山)が伸びている。また天妃山南側隣接部には大北川が流入している。

表-1には、天妃山沖約6 kmに設置した超音波式波高計による波浪観測データのうち、1984～1994年のデータに基づいて求めた波向別の波高出現頻度を示す。この海岸での主な入射方向はESE方向であるが、高波浪はSEまたはSSE方向からの頻度が高いのが特徴である。

3. 空中写真による汀線変化と前浜面積の変化

この区域では1947年以降13回空中写真が撮影されている。これらの空中写真を利用して汀線の長期的変化について調べる。空中写真の読み取りにおいては、調査区域の北端に基準点を設け、海岸線とほぼ平行に沿岸座標を定めた。この座標系に基づいて、大津漁港の防波堤の

表-1 天妃山沖での波向別波高出現頻度

(上段：出現回数, 下段()内：出現頻度)								
波向 波高(m)	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	合計
～ 0.50	24 (0.1)	34 (0.1)	203 (0.5)	458 (1.1)	170 (0.4)	5 (0.0)		894 (2.2)
0.51～ 1.00	24 (0.1)	699 (1.7)	4930 (11.8)	8336 (20.0)	2976 (7.2)	180 (0.4)	1 (0.0)	17146 (41.2)
1.01～ 1.50	6 (0.0)	884 (2.1)	4745 (11.4)	4818 (11.6)	2366 (5.7)	431 (1.1)		13250 (31.9)
1.51～ 2.00	2 (0.0)	492 (1.2)	2025 (4.9)	1622 (3.9)	1235 (3.0)	374 (0.9)		5750 (13.9)
2.01～ 2.50	3 (0.0)	195 (0.5)	799 (1.9)	625 (1.5)	462 (1.1)	229 (0.6)		2313 (5.6)
2.51～ 3.00		76 (0.2)	318 (0.8)	327 (0.8)	229 (0.6)	122 (0.3)		1072 (2.7)
3.01～ 3.50		30 (0.1)	125 (0.3)	154 (0.4)	140 (0.3)	80 (0.2)		529 (1.1)
3.51～ 4.00		10 (0.0)	74 (0.2)	75 (0.2)	56 (0.1)	43 (0.1)		258 (0.6)
4.01～ 5.00		4 (0.0)	38 (0.1)	54 (0.1)	88 (0.2)	38 (0.1)		222 (0.5)
5.01～		2 (0.0)	10 (0.0)	24 (0.1)	37 (0.1)	21 (0.0)		94 (0.2)
合計	59 (0.2)	2426 (5.8)	13267 (31.9)	16493 (39.7)	7759 (18.7)	1523 (3.7)	1 (0.0)	41528 (100.0)

* 正会員 東京電力(株)環境部陸海域環境調査グループ
** 正会員 東京電力(株)広野火力発電所
*** 正会員 東京電力(株)建設部火力土木グループ
**** 正会員 東電設計(株)第二土木本部火力土木部
***** 正会員 工博 建設省土木研究所河川部長

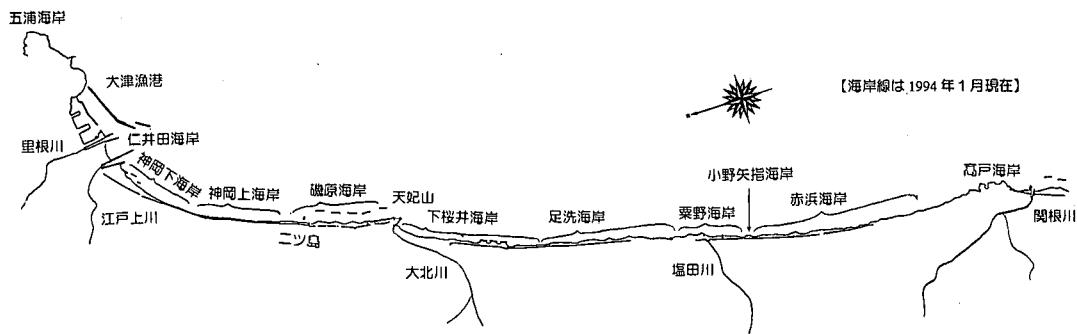
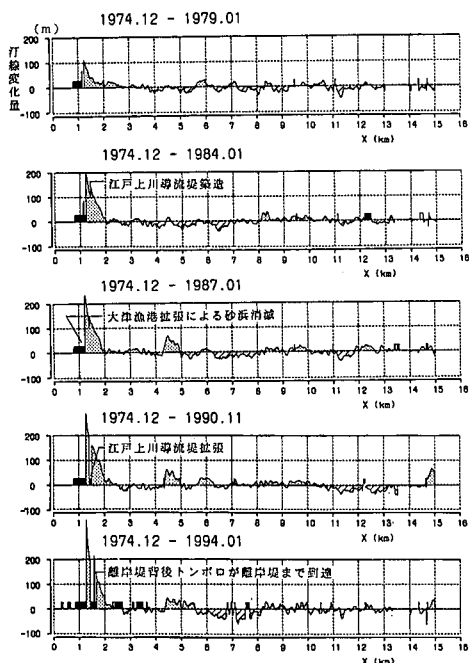


図-1 茨城県北部の海岸線（大津漁港～高戸海岸）

図-2 大津漁港～高戸海岸の汀線変化
(1974年12月～1994年1月)

延長に伴って顕著な汀線変化が見られる時期として、1974年以降の汀線変化を図-2に示す。但し、汀線が護岸等人工構造物に接した場合には汀線変化量を表示していない。

大津漁港の防波堤の建設が進むに従い、その背後で汀線が三角形状に大きく前進し、1974年から1994年で最大320mも汀線が前進したことがわかる。また、磯原海岸では離岸堤が1987年に建設されると、その背後では舌状砂州の形成とともに汀線が前進している。一方、大津

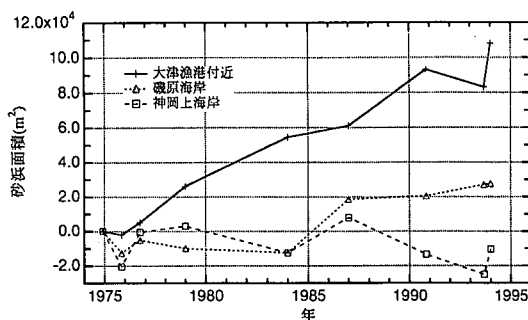


図-3 前浜面積の経年的変化（大津漁港～天妃山）

漁港での著しい堆砂に対して大津漁港の南側に隣接する神岡上海岸では、汀線は後退傾向にあるものの著しい後退は生じていない。このことは汀線変化を見る限りでは大津漁港から天妃山の間では漂砂は閉じた系をなしていないことを意味している。また、天妃山より南側の海岸では全体にやや侵食傾向にある。

図-2に示した汀線変化をもとに各地先海岸ごとに前浜面積を算出し、その経時変化を調べたのが図-3である。大津漁港周辺では1975年から1994年まで比較的単調に砂浜面積が増大しており、19年間で約 $11 \times 10^4 \text{ m}^2$ 前浜面積が増大している。増加割合は、 $5.8 \times 10^3 \text{ m}^2/\text{yr}$ である。宇多・野口(1992)は、大津漁港周辺での海浜変形について、海浜断面積の変化量と汀線変化量の相関から、移動高として10mを得ている。この値を前浜面積の増加割合に乗じると、大津漁港での堆積土砂量が求められ、さらにこの土砂は南側からの沿岸漂砂によって運ばれたと考えられることから、大津漁港へと移動した沿岸漂砂は、 $5.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ と推定される。このような沿岸漂砂移動に対して、隣接する神岡上海岸と磯原海岸の前浜面積は大きく減少せず、むしろ磯原海岸では1984年以降、前浜面積は増加傾向にある。このことは、大津漁港への堆積土砂は天妃山以南からも流入した可能性が高いことを示している。

天妃山以南の地先海岸における前浜面積の経時変化を

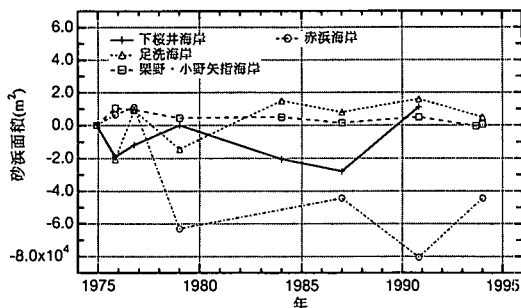


図-4 前浜面積の経年的変化 (天妃山～高戸海岸)

図-4に示す。天妃山から高戸海岸の間に伸びる緩く湾曲した汀線のうち、中央部の沿岸方向勾配の小さな位置にある足洗海岸、栗野・小野矢指海岸ではわずかな変動は示すものの、長期的には中立状態にある。これに対し、天妃山の南側に隣接する下桜井海岸と、南部の赤浜海岸では前浜面積の変動が著しく大きく、さらにこれら2地区で逆モードの変化が生じている。すなわち、赤浜海岸で前浜面積が減少(増大)するときには下桜井海岸で前浜面積が増大(減少)するという特徴が見られる。これは下桜井海岸と赤浜海岸がそれぞれ北・南側に沿岸漂砂を阻止すると考えられる岩礁を有しているため、斜め入射波の条件下でサイクリックな汀線変化が生じたと解釈される。そしてこの特徴は、宇多ら(1986)による1984年以前の空中写真による汀線変化分析でも明らかにされている。

さらに図-4によると、赤浜海岸では全体として前浜面積が後退傾向にある。この理由は次のように解釈される。まず図-1によれば、大津漁港から高戸海岸の間の海岸線は大きく湾曲し、一つの漂砂の系を作っている。両端を岬に囲まれた砂浜海岸は全国各地に存在するが、ここで扱う海岸の場合には、海岸線を3分割したとき北側から1/3の距離に天妃山の岩礁が突出し、ここで海岸線に段差が付いている。天妃山は沖方向に突出しているために、沿岸漂砂はかなり阻止されるが、岩礁の先端部の水深は、波による地形変化の限界水深よりも浅いために、高波浪時には沿岸漂砂が通過し得る条件下にあると考えられる。この場合、一連の海岸線の中央部では汀線変化は大きく現れないが、北端部に位置する大津漁港での防波堤の延長に伴って波の遮蔽域が形成されてその背後に土砂が堆積する一方、南端部の固定境界に隣接する赤浜海岸では侵食されたため、上述の地形変化が生じたものと考えられる。図-3において、前浜面積で見たとき、大津漁港から磯原海岸の間で土砂収支が成立せず、天妃山の南側から土砂が運び込まれたと考えられることも、この考え方の妥当性を示している。

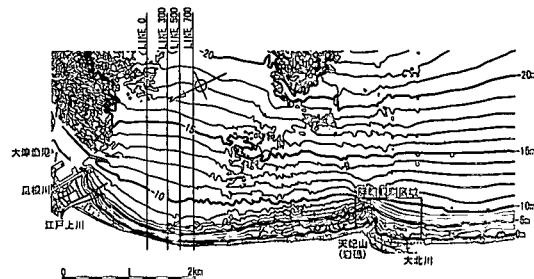


図-5 大津漁港～大北川河口周辺における深浅図 (1993年6月～8月)

4. 長期的海浜変形と短期的海浜変形の比較

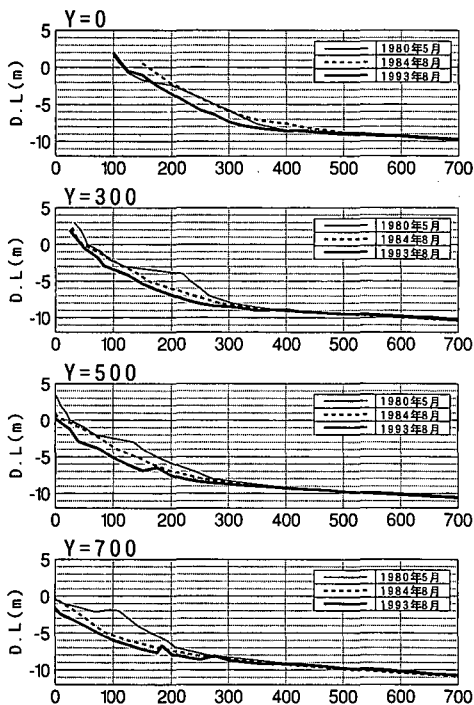
4.1 長期的海浜変形

1993年6月測量の大津漁港から大北川河口周辺部の深浅図を図-5に示す。この深浅図ではいくつもの特徴が指摘できる。まず大津漁港の防波堤沖の-12m以深、天妃山沖の-20m以深、大津漁港～天妃山のほぼ中央部の沖合、-10～-16m付近には等深線が非常に複雑なことからわかるように、幅広く岩礁が露出している。また天妃山周辺の浅海部にも岩礁が広がっている。一方、これらの岩礁の間にはなだらかな形状の等深線が伸びており、海底面は砂で覆われている。

大津漁港の防波堤周辺ではほぼ-8m以浅で、また天妃山の岬周辺ではほぼ-9m以浅の等深線が汀線と平行に伸びており、防波堤や導流堤あるいは岬の背後の波の静穏海域でそれらが平行に突出していることから、この海岸における波による地形変化の限界水深がほぼ-9m付近にあることがわかる。さらに、沿岸漂砂が完全に阻止されている大津漁港と、大きく冲向きに突出し、沿岸漂砂をかなり阻止すると考えられる天妃山の南側でこれらの等深線の形状がフック状となっている。そこで、海岸構造物による影響の少ない磯原海岸の離岸堤の北側と、大北川河口の南側で海岸線がほぼ直線状となる区域で汀線への法線を立ててその方向を調べると、方向角はESEとなる。この方向角ESEは、この海岸における卓越波の入射波向にほぼ対応すると考えられる。

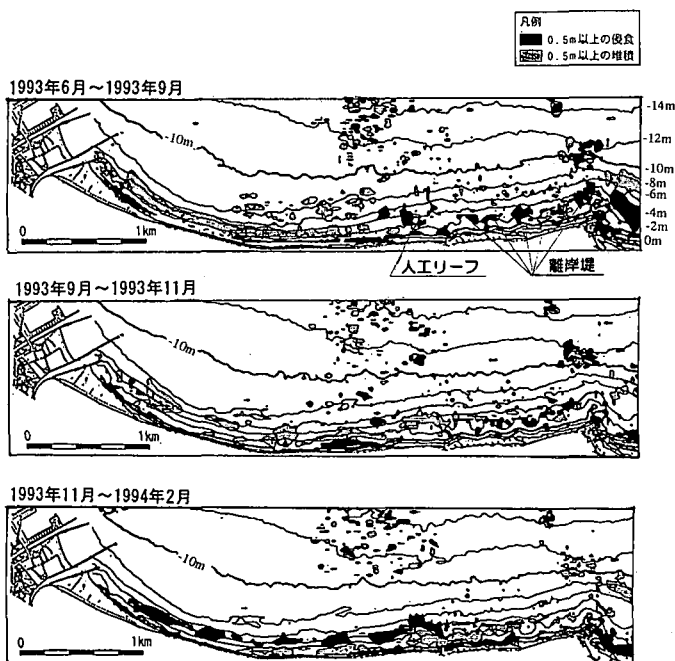
また、天妃山の周辺ではほぼ-5mまで岩礁が突き出ており、さらにその沖にも孤立した岩礁がある。この付近での波による地形変化の限界水深と比較すると、岩礁の水深の方が小さいので、高波浪条件下では沿岸漂砂の回り込みも発生し得ると推定される。

長期的海浜変形は、海浜縦断形の変化からも調べられる。神岡上海岸と神岡下海岸の境界に起点を設けたとき、神岡上海岸の300, 500, 700m測線(図-5参照)における海浜縦断形の変化を図-6に示す。比較年としては、1980, 1984, 1993年の3時期を選んでいる。これらによ



図—6 神岡上海岸における海浜縦断形の変化

れば、波による地形変化の限界水深はほぼ-9mにあり、いずれの測線でもステップ状の海浜が侵食されて鉛直上方に凹な縦断形へと変化したことがわかる。



図—7 1993年8月の高波浪（台風11号）に伴う短期的海浜地形変化

4.2 短期的海浜変形

1993年に4回の深浅測量を大津漁港から天妃山までの範囲において実施した。図—7には各回の深浅図の比較より、地形変化量の平面分布を示す。

上段は、1993年6月と9月の深浅測量の比較である。この間8月27日には $H_{1/3}=8.62\text{m}$ という高波浪がSSEの方向から来襲した。高波浪が海岸線に対して大きく斜め入射したため、全体として北向きの沿岸漂砂が生じ、神岡上海岸～大津漁港間の広い範囲で堆積が起きている。また、天妃山付近では南からの漂砂が天妃山に当たって方向を換え、すぐ沖に砂溜まりを形成していることがわかる。

堆積量が侵食量と比較してはるかに大きいことは、天妃山の岩礁は沿岸漂砂を部分的に阻止するのみであり、この高波浪時には南側から天妃山を越えて沿岸漂砂が流入したことを強く示唆する。そして、高波浪が作用したにもかかわらず、著しい地形変化の生じた範囲が長期的海浜変形で見られた-8m以浅と同様なことも注目される。なぜなら、長期的地形変化で見られる波による地形変化の限界水深が、ここで述べたような高波浪に対応している可能性が高いことを示しているからである。

次に中段は9月と11月の比較である。この間にも $H_{1/3}$ で6mを越す高波浪が2度SSEの方向から来襲している。北向きの漂砂により、大津漁港よりに堆積が進んでいることがわかる。

上段・中段を通してみると、地形変化がほぼ-8m以浅の区域に集中しており、沿岸方向には侵食・堆積域がほぼ交互に並んでいる。すなわち、天妃山の北側隣接部では離岸堤背後域を中心に侵食され、人工リーフの南側では堆砂が生じている。一方、この人工リーフの北側隣接部では大きく侵食され、ここより北側、大津漁港に近づく広い範囲で堆積が起きている。沿岸漂砂の移動を阻止する岩礁(天妃山)や人工リーフを境に、南側で堆積、北側で侵食が起きた点は、この海浜変形が北向きの沿岸漂砂によって生じたものであることを示している。

最後に下段は11月と翌1994年2月の比較である。この間特に高波浪は来襲していないが、波向きがE方向(汀線に対して北寄り)に変化したことから、南向きの漂砂が生じ、磯原海岸付近の岸近くの堆積に寄与していると考えられる。

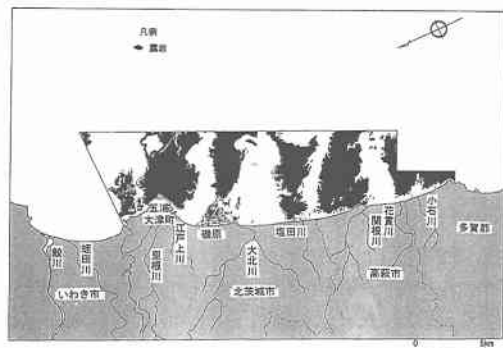


図-8 露岩域の平面分布

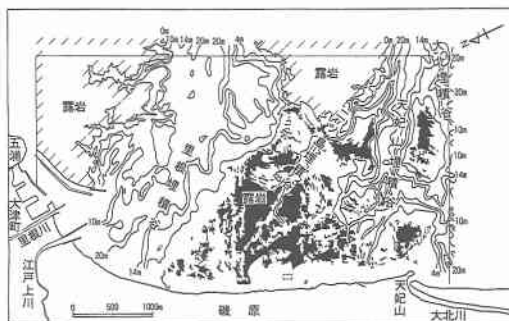


図-9 堆積層の等厚線分布

5. 海底地質調査

観測海域の沖合では図-5に示したように、海底面に岩礁が露出している。1993年9月にサイドスキャンソナーを用いて調査した当該海域の岩礁分布状況を図-8に示す。大津漁港の北側に広がる五浦海岸沖、大北川河口沖、塩田川河口沖、関根川河口沖、さらには花貫川河口から高戸には沿岸方向に幅約5kmで岩礁が露出している。そしてこの沿岸に流入する小河川は、いずれもこれらの岩礁背後において海へ流入していることがわかる。このことは、岩礁の存在によって相対的に波浪が静穏で、砂州高の低い場所において小河川が流入し易いことを意味している。一方、岩礁部でも岸側の汀線に近い部分では、海底表面が砂で覆われていることがわかる。

海底下の地質構造を明らかにするために、1993年6月に地層探査を行った。探査ではチャープソナーにより未固結堆積物を、スパーカーにより深部をそれぞれ探査した。観測海域は大津漁港から磯原まで沿岸方向に5km、

岸沖方向に3km範囲で、沿岸方向の測線間隔は約100mであった。

地層探査の結果を図-9に示す。図中には4つの埋積谷が発達していることがわかる。図-8の通り、この海域の沖合では露岩域が広がっているが、それらの間には氷河期に形成された多くの堆積谷があり、そこに堆積物が堆積してできた空間であることがわかる。また漂砂の活発な範囲(浅海域)では表面が砂により覆われている。

6. まとめ

本研究によって明らかになった事項を以下に示す。

① 大津漁港の防波堤の延伸に伴い、防波堤背後に形成された波の遮蔽域へと沿岸漂砂による土砂移動が生じたが、前浜面積の時間変化割合に漂砂の移動高を乗じることにより、1974～1995年平均沿岸漂砂量は、 $5.8 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{yr}$ と推定された。

② この海域での広域の汀線変化分析によれば、大津漁港への堆積に対してそれと釣り合うような侵食は大津漁港の近傍では生じておらず、天妃山の南、高戸海岸に隣接する赤浜海岸で汀線の後退が見られる。このことは、海に突き出た岩礁である天妃山を沿岸漂砂は通過し得ることを表している。

③ 1993年8月の $H_{1/3}=8.62 \text{ m}$ という高波浪の来襲前後の海浜変形を調べたところ、波の入射方向がSSEと、海岸線に対して大きく斜め入射したため、北向きの沿岸漂砂が生じ、岬や人工リーフなど沿岸漂砂を阻止する施設の南側で堆積、北側で侵食という地形変化が生じた。このときの地形変化は長期的地形変化から求められた波による地形変化の限界水深(-8m)以浅で生じたこと、および大津漁港から磯原海岸での堆積土砂の多くは天妃山の岩礁を越えて南側から流入したものであることがわかった。

④ 音波探査による海底の地質調査を実施したところ、当該海域には多くの露岩域がありそれらの間に氷河期に形成された里根、二ツ島、天妃山、大北埋積谷が存在することおよび露岩域の岸側の汀線近傍では砂により海底面が覆われていることがわかった。

参考文献

- 宇多高明・住谷勉夫・小林洋三 (1986): 茨城県における海浜変形の実態, 地形 Vol. 7, pp. 141-163.
- 宇多高明・野口賢二 (1992): 茨城県北部, 神岡上海岸の侵食機構, 土木技術資料, Vol. 34, No. 1, pp. 49-53.