

判別分析を用いた定性的汀線変動予測とその予測精度に関する考察

加藤 茂¹・竹内麻衣子²・青木伸一³・栗山善昭⁴

本研究では、判別分析による定性的な短期汀線変動（堆積／侵食傾向）の予測を試みた。判別分析では目的変数として汀線位置の変動傾向（堆積：＋，侵食：－），説明変数として沖波波浪のエネルギーフラックス，平均潮位，前回の汀線位置を用いた。その結果，波崎海岸での汀線変動には長期的な堆積傾向が含まれているため，その影響が少なく，かつ汀線変動の定性的傾向と説明変数との対応関係を把握できる間隔，期間のデータを用いることで，80％以上の予測的中率が確保できることが明らかとなった。また，説明変数や使用するデータの期間，期間などの選定方法を検討することにより，予測的中率の向上が見込まれる。

1. 緒 言

河川や海食崖など陸域からの土砂供給量の減少に加えて，構造物によって沿岸域での土砂輸送の連続性が分断されたことによる海岸侵食の発生や下手側へのその影響の拡大が深刻な問題となってきた。その対応策として，さらに構造物を設置したり養浜，サンドバイパス等が実施されているが，より効果的な海岸侵食制御を行うためには汀線変動の傾向を予測し現在の海岸の状態を把握した上で，それに即した対策を実施することが必要である。汀線変動予測に関しては，漂砂・地形変化等の数値モデル（清水ら，1994；黒岩ら，2005；Larson ら，1989 など）やニューラルネットワークなどを用いた経験的予測手法（坂上・田中，2005）など多くの研究が実施されているものの，汀線位置を定量的に精度良く予測することは困難である。そこで，最終的には定量的な汀線位置変動の予測に繋げることを上位目標として，本研究では地形測量や沿岸海象条件などの定量的な観測結果を基に，判別分析を用いて短期間での定性的な汀線変動（堆積／侵食傾向）の予測を試み，その予測精度について考察を行った。

2. 対象海岸における汀線位置，波浪，潮位

(1) 汀線位置データ

本研究では，茨城県鹿島郡波崎町にある港湾空港技術研究所波崎海洋研究施設（HORS）の棧橋における 15 年間（1987～2001 年）の地形測量結果を用いて汀線位置の変動を解析した。この地形測量は地形測定用レッドを用いてほぼ毎日実施されており，棧橋に沿った岸沖方向に 5 m 間隔で実施されている。汀線位置はこの測量

結果を用いて，水位位置と砂面表面との交点と定義し，水位位置として鹿島港における朔望平均満潮位（H.W.L.），朔望平均低潮位（L.W.L.）および平均水位（M.S.L.）の 3 種類を仮定して，この点を挟んだ 2 地点での測量結果（地盤高）から線形補間で求めた。

図-1 は，これら 3 点での汀線変動を比較した図である。1995 年から 1998 年までの 3 年間の H.W.L. においては，年間の変動が比較的相似な鋸刈型になっており，おおよそ台風発生時期の 9 月下旬から 10 月上旬にかけて汀線が急激に後退し，その後 1 年をかけて徐々に前進していることが分かる。M.S.L. においては H.W.L. よりも 20 m 沖側でほぼ同じ変動をしている。L.W.L. については他の 2 つに比べて変動が激しく，これは L.W.L. が存在する地点付近は地形勾配が小さく，僅かな地盤高の変動が大きな汀線位置の水平方向移動を引き起こすためである。また，L.W.L. での汀線位置は海中にある，もしくは波打ち際で波の作用を常に受けているため，潮位変動や波浪の影響を強く受けて地形変化が激しく，汀線位置として解析に用いることは適切でないと考えられる。そこで，本研究では潮位変動や波浪の影響による局所的または 1 日以下の短期的な地形変動があまり含まれていないと考えられる H.W.L. との交点を汀線位置として用いた。

(2) 汀線変動と波浪，潮汐の時間変化との対応

汀線変動と波浪条件，潮位変動との関係を検討する。波浪データには鹿島港沖水深 24 m で観測されたナウファス（全国港湾海洋波浪情報網）の毎偶数時の観測データを使用した。潮位データは，日本海洋データセンター（JODC）が提供している銚子漁港での毎時観測データを使用した。汀線位置データは 1 日ごとのデータであるので，波浪データに関しては 1 日の観測データ（有義波高，有義波周期）のうち最大有義波高とその時の有義波周期を波浪の沖波代表量とした。潮位データに関しては 1 日平均潮位（平均水位）を用いることとした。

図-2 は 1997～2001 年の沖波浪波（波高，周期），潮

1 正会員 博(工) 豊橋技術科学大学助教授 工学教育国際協力研究センター
2 豊橋技術科学大学大学院 工学研究科建設工学専攻
3 正会員 工博 豊橋技術科学大学教授 工学部建設工学系
4 正会員 工博 (独法)港湾空港技術研究所 海洋・水工部漂砂研究室

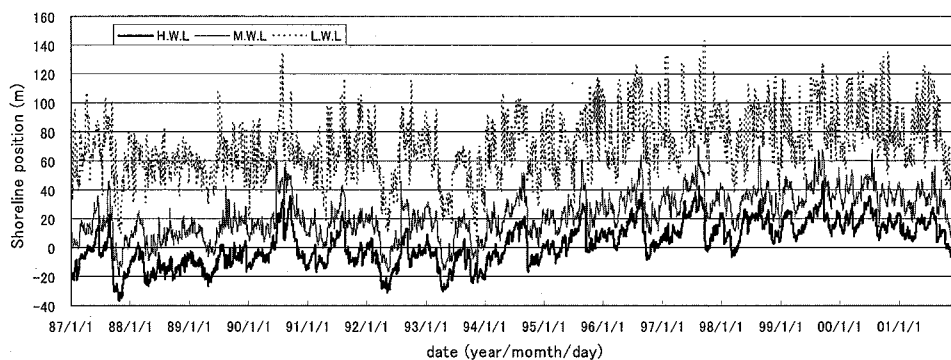


図-1 測量結果から計算された汀線位置の比較

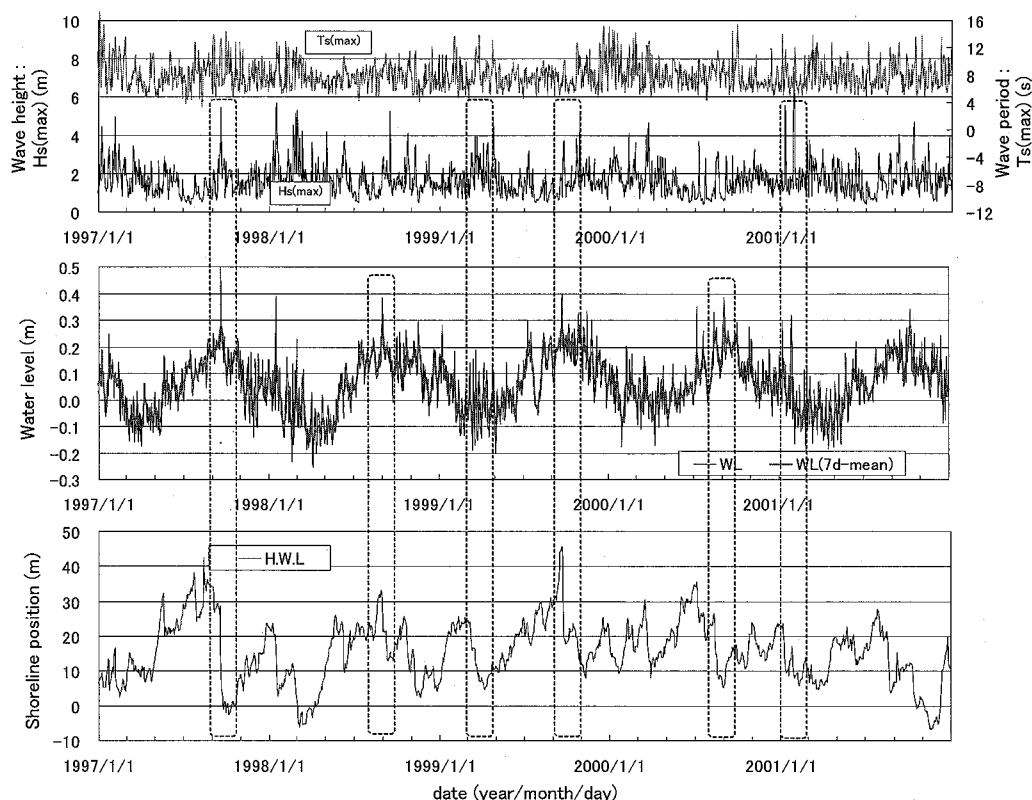


図-2 沖合波浪（有義波高・周期）（上段）、潮位（中段）および汀線位置（下段）の時系列変化の比較

位、汀線位置の時系列変化を示している。潮位については7日間での移動平均値も併せて示している。図中の点線で示したように、汀線の急激な後退は高波浪の来襲と対応しているように見える。この高波浪は主に夏から秋にかけても台風の接近によるものと思われる。このときには平均潮位は高く変動も激しくなっており、潮位とその変動の度合いが汀線変化に影響を及ぼしていると考えられる。さらに、2000年後半では、波浪はそれほど厳しい条件が続いているわけではないが（最大有義波高で

3m未満）、平均潮位が高く変動幅も大きい場合に汀線の急激な後退が生じており、ここでは汀線変動に及ぼす潮位変動の影響が明確に現れているものと考えられる。

3. 判別分析の汀線変化予測への適用

(1) 判別分析の概要

判別分析とは、重回帰分析と同様に外的基準をもつ予測型、要因解析型の解析手法であり、ある質的に異なる2群以上の母集団から抽出した標本データについて、いく

つかの変数が与えられているとき、データがどの母集団に属するか判別する方法である。判別分析を実施するには、集めた標本がどの母集団に属しているのかをあらかじめ区分けしておく必要がある。区分けする方法に、線形判別式 (linear discriminant function) を使用する方法と、マハラノビスの距離 (Mahalanobis's generalized distance) を用いる方法がある。

線形判別式を使用して2群を区分けできるのは、母分散共分散行列が等しい時に限られる。2群の母分散が等しい時には、その判別式は直線になるが、等しくない時には判別式は曲線となる。母分散共分散行列が等しくない時には、マハラノビスの距離による判別を行う必要がある。したがって、2群の分散共分散行列の等分散性を判定するためにボックス M 検定を行い、線形判別式による判定とマハラノビスの距離による判定のどちらを用いるかの判定を行った。その結果、今回用いるデータ群に関しては線形判別式を用いることが可能であることが明らかとなったので、この判定方法を採用した。

線形判別式は従属変数が質的変数で、説明変数は量的変数の回帰分析である。前述の通り、前提条件として各群の各変数が多変量正規分布をとり、各群同士の分散・共分散行列が共に等しい事 (等分散性) が、分析に当たってまず求められる。

次に、多変量データ $x_1, x_2, \dots, x_n$ があるとする。この説明変数 $x_1, x_2, \dots, x_n$ はいずれも量的データであり、この変数に適当な重み $a_1, a_2, \dots, a_n, a_0$ を付けて目的変数 Z を得る。この時得られる目的変数 Z (判別得点) が区分けを示す質的データであるとき、以下の式を線形判別式という。判別分析においては、説明変数は量的データであるが、得られる目的変数はどの母集団に属するのかを示す質的データを扱う。

$$Z = a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n + a_0 \dots \dots \dots (1)$$

通常、量的データ間の関係を表すものとしては相関係数があるが、量的データと質的データの関係を表すものとして相関比 (η^2) があり、以下の式で与えられる。

$$\eta^2 = \frac{S_B}{S_T} \dots \dots \dots (2)$$

$$S_T = \sum (Z_{ij} - \bar{Z})^2 \dots \dots \dots (3)$$

$$S_B = \sum n_i (\bar{Z}_i - \bar{Z})^2 \dots \dots \dots (4)$$

ここで、相関比 (η^2) が最大となる $a_1, a_2, \dots, a_n, a_0$ の値を採用する。

全変動 (S_T) は、全平均から各々のデータがどれ位散らばっているかである。級間変動 (S_B) は、目的変数 Z (ここでは2群 A, B と考える) の A 群の全平均からどの位散らばっているかと、B 群の全平均からどの位散らばっているかを合計したものである。以上より求められた判別得点 Z は、+ と - の値に群分けでき、こ

れがもともとの目的変数と一致するかを調べる。

(2) 判別分析の適用と分析結果

汀線位置の短期変動特性について波崎海岸の海浜断面測量データをもとに解析を行った加藤ら (1987) の研究では、汀線変動は波浪条件だけでなく現状の汀線がどこに位置するかによって変わることが指摘されている。これは、与えられた波浪条件に対してある安定な汀線位置が存在し、汀線はその平衡位置に向うように前進・後退すると考えるものである。また、青木・小畑 (2000) による表浜海岸での前浜断面の短期変動に関する研究では、現地データの解析から異常潮位が汀線の大幅な後退を引き起こしていることが示されている。さらに、汀線変動と平均潮位の変動との対応関係が汀線変動と波浪外力との対応関係よりも明確に現れており、汀線変動に対する潮位変動の影響の大きさが指摘されている。

そこで、本研究においても潮汐 (日平均潮位、以下 WL) と沖波条件 (日最大有義波高・周期から計算した波浪エネルギーフラックス、以下 ECg) を汀線変動予測の説明変数とした。また、加藤ら (1987) の指摘を参考に汀線の安定位置と現在の汀線位置との位置関係がその後の汀線変動に影響すると考え、前回測量時の汀線位置 BL を説明変数として加えた。ここでは、データ間隔を7日と仮定し、15年間分のデータを用いて、目的変数：汀線の堆積/侵食の傾向 (予測日と前回 (7日前) の汀線位置の差、堆積 (前進)：+、侵食 (後退)：-)、説明変数：前7日間の平均 ECg と平均 WL、7日前の BL をして線形判別分析を行った。図-3 は分析によって得られた予測結果を示しており、上側が堆積領域、下側が侵食領域とした (ECg, WL, BL) の境界面

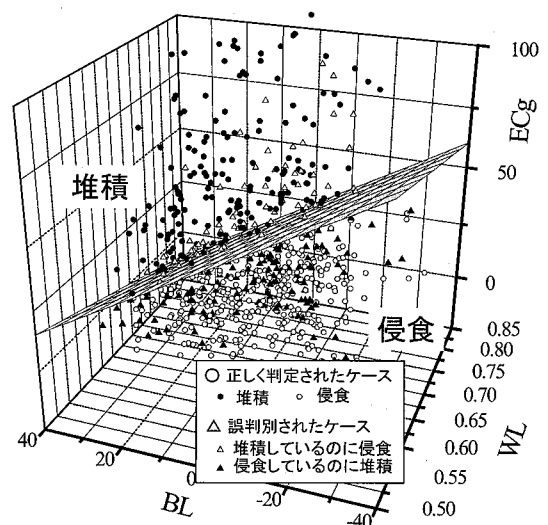


図-3 波崎海岸における汀線変動傾向の線形判別分析結果 (データ：7日間隔，15年分)

$$Z = -1.386 \cdot WL - 0.030 \cdot BL - 0.026 \cdot ECg + 1.128$$

.....(5)

が得られた。このときの予測的中率は約70%であった。図-4は、図-3の分析結果を汀線位置(測量)(□)に誤判別が発生した日(◆)を重ねて示している。台風来襲によって発生している急な汀線後退は比較的確予測できている。誤判別の発生状況を詳しく調べてみると、細かな汀線の前進・後退が交互に生じている場合と汀線が後退傾向から前進傾向に変化する時もしくはその直前に多く発生していた。

(3) 予測精度に関する考察

図-5は、データ間隔をM日、データ期間をN年として、M=1, 3, 7, 10日の4ケース、N=1, 3, 5, 15年の4ケース、合計16ケースについて、(a)分析に用いた全データ、(b)計測結果が堆積(前進)の場合のデータ、(c)計測結果が侵食(後退)の場合のデータのそれぞれに対する予測的中率を示している。どのケースも堆積の場合の的中率が侵食の場合の的中率を上回っており、70~80%後半の予測的中率が得られている。しかし、侵食の場合には最高でも約70%、大半は50%台と低い。これより、汀線の変動傾向によって予測精度が異なること、汀線が堆積傾向にある場合は比較的高い確率で予測できることが確認できる。侵食時の予測的中率が低い原因としては、汀線変動の長期的なトレンドが影響していると考えられる。図-1からも分かるように、波崎海岸では1年以下での汀線変動サイクルに加えて長期的な堆積(汀線前進)のトレンドあり、加藤ら(1987)が指摘した安定した汀線位置も徐々に変動していると考えられる。そのため、長期間のデータを用いた判別分析では結果に長期間での変動の影響が含まれてしまい、これが侵食時での予測精度の低下に影響しているものと考えられる。データ間隔が10日の場合には、データ期間を1年間とするとデータ数が36個、7日の場合でも52個と少ないため、これらを比較対象から除外すると、今回の分析では3年間または5年間のデータを用いた場合に全体および堆積傾向の予測的中率が高くなる。これより、長期的なトレンドがあまり現れない程度のデータ(期間)

を用いることにより、予測精度が向上することが明らかとなった。どの程度の期間が適切であるかは、今後、検

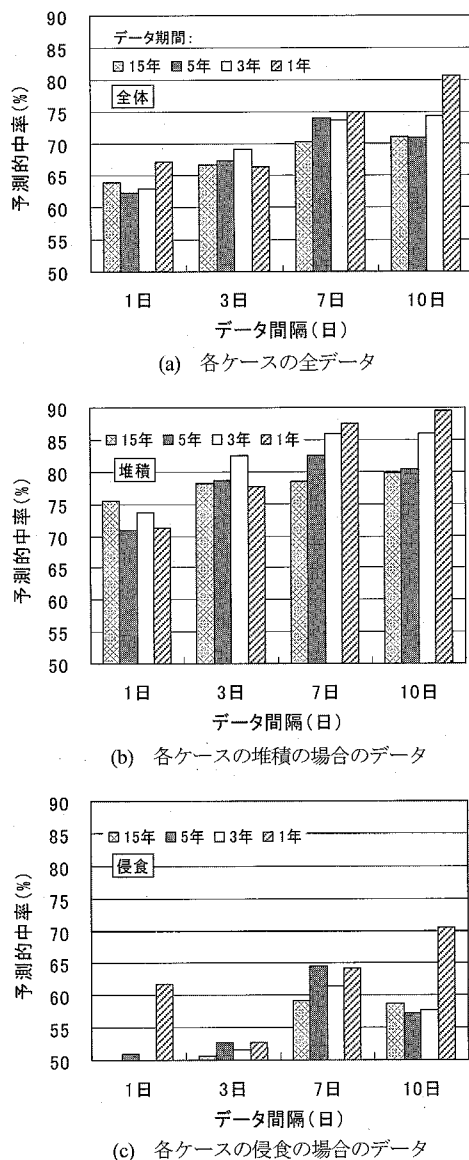


図-5 判別分析による汀線位置の予測精度(的中率)の比較

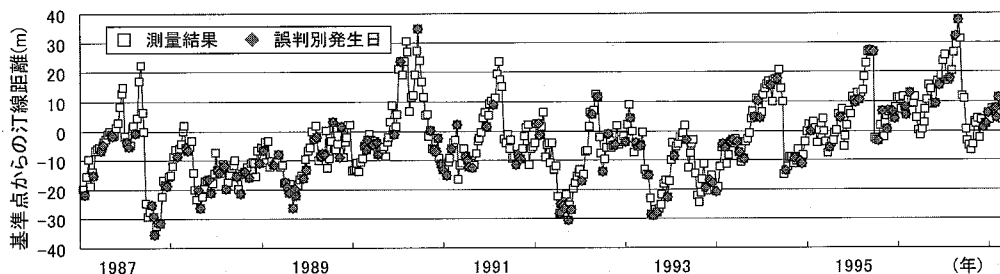


図-4 測量結果(汀線位置)と判別分析による誤判別の発生状況

討が必要である。

図-5(a), (b)では、全体としてデータ間隔が大きくなると予測精度は向上している。これは、データ間隔が大きくなると対象とする現象が平均的な変動のみとなり、現象が比較的単純化されるため予測が容易になると考えられる。しかし、台風や低気圧の通過などのイベント(外的要因)との対応やそれに伴う数日スケールでの変動が把握しにくくなることが考えられる。一方、データ間隔が小さくなると、汀線の前進・後退過程の中に内在する細かな変動までもデータに含まれてしまう。したがって、細かな変動を説明するような変数を用いていない本分析方法では、予測的中率は低くなっている。しかし、使用する説明変数を詳細に検討することによって、細かい変動を含んだ取得間隔の小さいデータに関しても本分析手法が適用可能になると考えられる。(c)ではデータ間隔が7日の場合に他のケースよりも予測的中率が良く、今回の説明変数がこの程度の時間スケールの汀線変動を捉えていると判断できる。

4. 小島(表浜)海岸でのデータへの適用

本手法を遠州灘・小島海岸(愛知県豊橋市)における1999年5月~2004年12月の約6年間分の汀線測量データ(314個)に適用し、本予測方法の適用性を検討した。汀線測量データやその計測方法については青木・小畑(2000)を参照されたい。この測量はほぼ週1回(5~10日間隔)の頻度で実施されている。ここでは便宜的に7日間隔のデータとして扱うこととし、汀線位置はTP+1.5mと砂面表面との交点と定義した。波浪データは、静岡県袋井土木事務所が天竜川沖南東2km、水深40m地点に設置した波高計で得られた毎時データを用いた。潮位データは静岡県浜松市の舞阪検潮所で得られた毎時データを用いた。

波崎海岸でのデータと同様に、約6年間分のデータを用いて、目的変数：汀線の堆積/侵食の傾向(予測日と前回の汀線位置の差)、説明変数：前7日間の平均ECgと平均WL、7日前のBLとして判別分析を行った結果、予測的中率(全データ)が約65%の線形判別式が得られた。波崎海岸での分析(7日間隔で5年分の場合、約74%)に比べて予測的中率が低い理由としては、測量の実施間隔が5~10日間隔での測量結果を7日と仮定していること、測量結果および汀線位置の推定の精度が波崎海岸のデータに比べて低いことなどが考えられる。しかし、データ整理や汀線位置推定の方法、新たな説明変数の選定等を検討することにより、現有の測量データを生かした小島海岸での定性的な汀線変動予測が可能になると思われる。

5. 結 語

本研究では定性的な汀線変動を予測する方法として判別分析を用いて、波崎海岸における汀線位置の変動予測分析を行った。予測する汀線変動の定量的変量として汀線位置の変動傾向(堆積：+, 侵食：-), 説明変量として沖波波浪のエネルギーフラックス, 平均潮位, 前回の汀線位置(測量結果)を用いて分析を行った結果、波崎海岸での汀線変動には長期的な堆積傾向(トレンド)が含まれているため、その影響が少なく、かつ汀線の変動傾向と説明変量との対応関係を把握できる間隔、期間のデータを用いることで、堆積のケースに限れば70~80%後半の予測的中率が確保できることが明らかとなった。

また、遠州灘の小島(表浜)海岸でのデータにも本手法を適用した結果、データ間隔の不均一や汀線推定精度の低さなどの要因があるにもかかわらず、全データに対して約65%の予測的中率が確保できた。今後は現有の測量データを生かして適切な説明変量の選択や予測精度とデータの時間空間度の関係を検討し、定量的な汀線位置変動の予測に繋げることが必要である。

謝辞：本研究では、(独法)港湾空港技術研究所 波崎海洋研究施設での測量データ、ナウファス・データ(鹿島港沖)を使用させて頂きました。また、これらのデータ解析では、港湾空港技術研究所 川村里実研究員、友田尚貴研究員をはじめとする漂砂研究室の皆さんに大変ご協力頂きました。小島海岸の測量に関しては、豊橋技術科学大学 建設工学系の片岡三枝子技官、水工研究室の皆さんにご協力頂きました。ここに記して謝意を表します。

参 考 文 献

- 青木伸一・小畑浩子(2000)：汀線および前浜断面の短期変動に及ぼす異常潮位の影響, 海岸工学論文集, 第47巻, pp. 586-590.
- 加藤一正・柳嶋慎一・村上裕幸・末次広児(1987)：汀線位置の短期変動特性とそのモデル化の試み, 港湾技術研究所報告, 第26巻第2号.
- 黒岩正光・口石孝幸・加藤憲一・松原雄平・野田英明・中本良平(2005)：混合粒径砂の分級と汀線変化を考慮した3次元化海浜変形予測モデル, 海岸工学論文集, 第52巻, pp. 521-525.
- 坂上 毅・田中 仁(2005)：ニューラルネットワークを用いた海浜変形予測の試み, 海岸工学論文集, 第52巻, pp. 531-535.
- 清水琢三・熊谷隆宏・三村信男・渡辺 晃(1994)：汀線変化を考慮した3次元海浜変形長期予測モデル, 海岸工学論文集, 第41巻, pp. 406-410.
- 日本海洋データセンター(Japan Oceanographic Data Center : JODC) : http://www.jodc.go.jp/index_j.html
- Larson, M., and N. C. Kraus(1989) : SBEACH: Numerical model for simulating storm-induced beach change; Report 1 : Empirical foundation and model development, Technical Report CERC-89-9, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Coastal Engineering Research Center, Vicksburg, MS.