

後浜から砂丘前面にかけての地形変化と植生

栗山善昭*・望月徳雄**

1. はじめに

波の影響を受けて常に変形している前浜の背後には変形の比較的小さい後浜と砂丘が存在する。従来の研究では、その対象が変化の激しい前浜あるいは対象の大きい砂丘に集中しており、後浜から砂丘前面にかけての領域が対象となることはあまりなかった。しかし、この領域は、前浜が侵食されたとき、あるいは波が前浜を越えたときに、背後地を波から守る第2次防護施設としての機能を有しており、防災上、重要な空間である。今後は、災害に強い海岸をより自然に近い形で再生・保全するため、後浜や砂丘にも考慮した広範囲の海岸管理を行っていく必要がある、そのためには、後浜から砂丘前面にかけての変形特性を研究する必要があると思われる。

後浜から砂丘前面にかけての地形変形特性を検討するには、この領域に通常生息する海岸植物の影響を考慮する必要がある。というのは、植物には飛砂の発生を抑制したり、飛砂を捕捉する機能があると考えられるからである。今までに、仲座ら(1991)や成瀬ら(1992)によって植生と断面地形との関係が、Davidson-Arnott・Law(1990)によって植生がある海岸での地形変化から求まる飛砂量と風速との関係が調べられてきているけれども、植生と地形変化との関係が定量的に調べられた例は無い。そこで、本研究では、現地調査結果を基に、植生に注目して後浜から砂丘前面にかけての地形変化特性を検討した。

2. 調査方法

現地調査は鹿島灘に面する波崎海洋研究施設(略称HORS, 図-1参照)より100mほど北の海岸で行った。図-2に示す調査領域に沿岸方向20m間隔で3測線設定し、1995年6月より約1ヶ月に1回の割合で、後浜から砂丘前面にかけて地形測定と植生調査を行った。図-2から明らかな様に調査領域は沿岸方向にほぼ一様な地形となっており、地形変化に及ぼす沿岸方向の影響は小さいと考えられる。写真-1は調査領域の全景を写したも

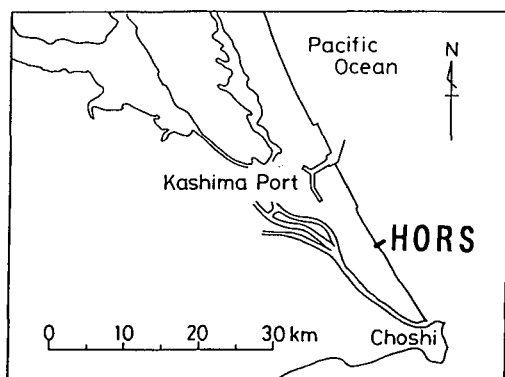


図-1 波崎海洋研究施設の位置

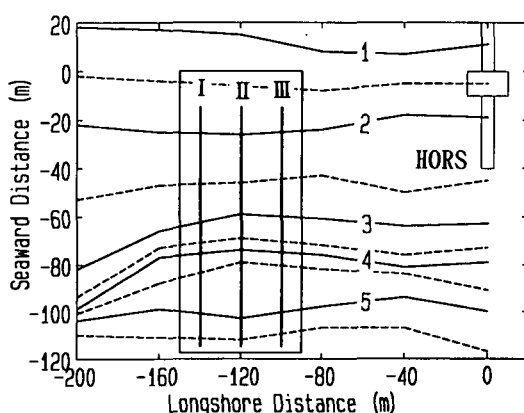


図-2 調査領域周辺の地形(1996年11月11日測量, L.W.L.基準)

ので、図-3は、測線IIにおける後浜と砂丘の断面を示したものである。沖方向距離-65m地点付近から砂丘根元までコウボウムギ(*Carex kobomugi*)やハマニンニク(*Elymus mollis*)、ハマヒルガオ(*Calystegia soldanella*)が生えている。沖方向距離-116m地点と-120m地点には高さ1mほどの堆砂垣があり、それより上方には主としてチガヤ(*Imperata cylindrica*)が生えている。本研究における調査範囲は沖方向距離-115m地点よりも海側で、植生調査では沼田(1978)を参考に岸沖方向10m間隔で設定した調査点を中心とした1m四方内の植物

* 正会員 運輸省港湾技術研究所 海洋環境部 主任研究官
 ** 運輸省第五港湾建設局 清水港工事事務所



写真-1 調査領域の全景 (1996年5月29日撮影)

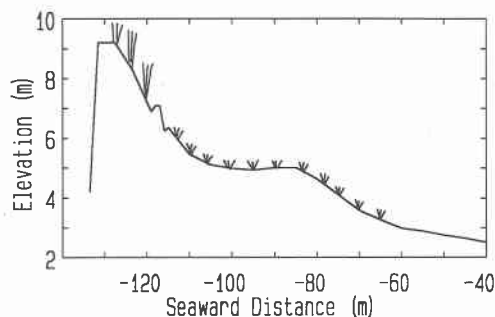


図-3 測線IIにおける断面図(1996年11月5日測量, L.W.基準)

の種類, 高さ, 分布面積を観察し, 地形測定では5m間隔で地盤高さを測定した。汀線より約400mほど沖のHORS先端では, L.W.L.より約10m上方で風向・風速を1時間間隔で10分間測定し, 沖方向距離0m付近のHORS観測室屋上では雨量を1時間間隔で測定した。1995年6月から約1年間は, 1日1回, ごみの分布等から波の遡上端の位置を調べた。

3. 地形変化特性

沖方向距離-65m地点から-115m地点までの範囲を4つの領域に分け, それぞれの領域における初期断面からの平均地形変化量の経時変化を図-4に示した。図の上段には測定日間の陸向きの平均風速を示した。本調査領域では, 海から陸に向かう風が卓越することにより, 後浜から砂丘前面にかけて年間約15cmの堆積が生じていた。

もう少し詳細に見ると, -65m地点から-90m地点までの範囲では主として夏から秋にかけて堆積が起こっているのに対して, それより陸側の-95m地点から-115m地点の範囲では秋から冬にかけて堆積が起こっている。この原因は5.で検討する。

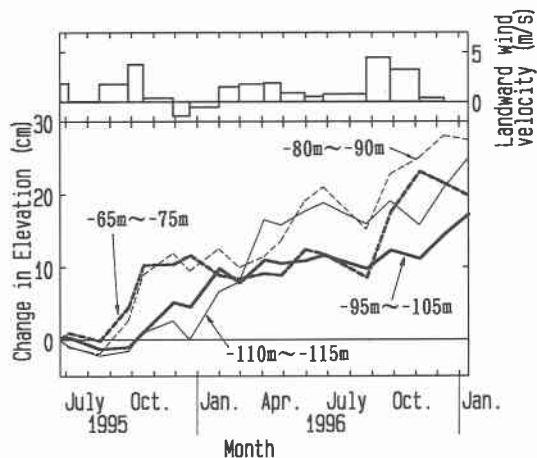


図-4 各領域における平均地形変化量と岸向き平均風速

4. 植生特性

調査領域で観察されたコウボウムギ, ハマニンニク, ハマヒルガオの被度(占有面積)の経時変化を図-5に, それぞれの植物の平均高さの経時変化を図-6に示す。調査領域では全域において夏に10cm近くまで発達するコウボウムギが優占種となっており, 調査領域の約20%を占めている。コウボウムギに次いで優占種となっているのはハマヒルガオで, これは主に調査区域の砂丘に近い領域に生息しており, 夏には高さが3cm近くになる。ハマニンニクは, それとは逆に主として調査領域の海側, すなわち, 植物の海側限界点寄りの領域に生息しており, 夏には20cm近くまで発達する。

ここで, 植物の繁茂を示す指標として, 調査面積平均の植物の高さ, すなわち植物の調査区域内で観察された

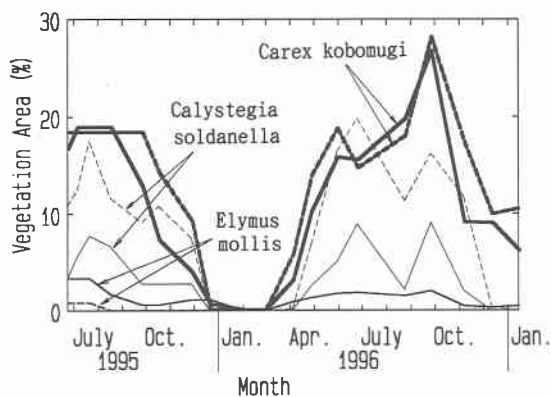


図-5 各植物の被度(占有面積)の経時変化(実線は沖方向距離-70m地点から-80m地点までの値を, 破線は-90m地点から-110m地点までの値を示している。)

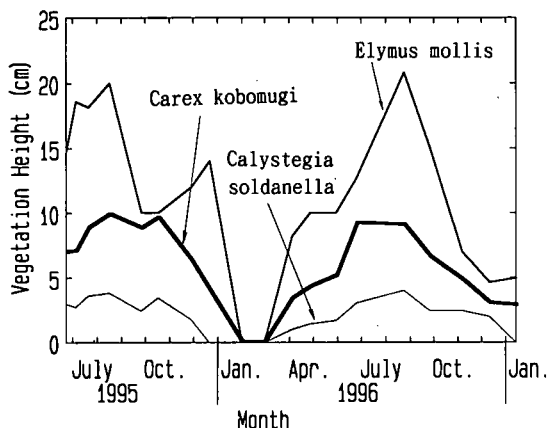


図-6 各植物の平均高さの経時変化

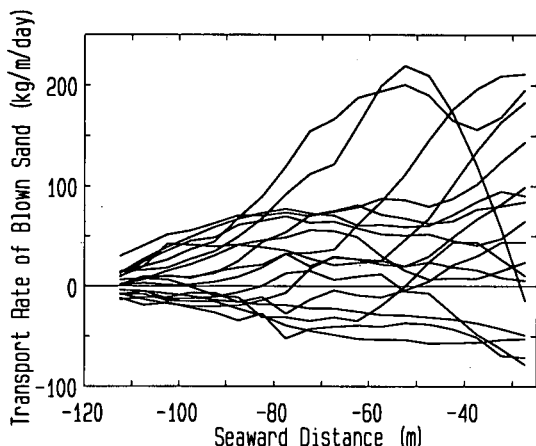


図-8 飛砂量の岸沖分布の重ね合わせ

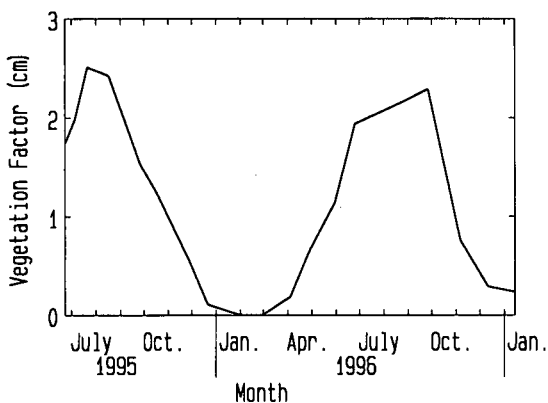


図-7 植物の繁茂指数の経時変化

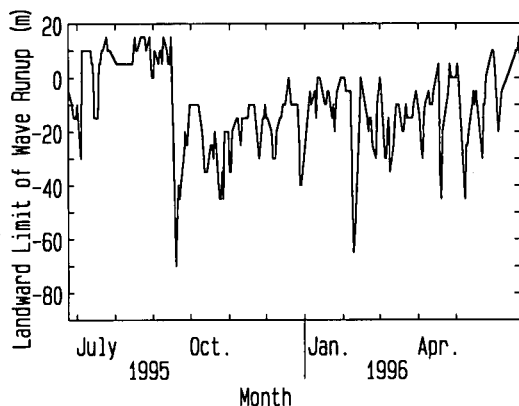


図-9 波の遡上端の経時変化

植物の容積（高さ×面積）を調査面積（ 1 m^2 ）で割った値の -70 m 地点から -110 m 地点までの平均値を考える。図-7はその経時変化を示したもので、この図から、植物が4月から6月にかけて急激に繁茂し、9月から11月にかけての枯れていく様子が植物の繁茂指数によってよく表されていることがわかる。

5. 飛砂量の岸沖分布と植生との関係

飛砂量の岸沖分布を、砂丘根元の -117.5 m 地点における飛砂量を0と仮定して地形変化より求めた。なお、空隙率は堀川ら（1981）と同様に0.38とした。図-8はそうにして求めた飛砂量の岸沖分布を重ね合わせたものである。飛砂量は、砂丘根元から海に向かって次第に増大し、 -80 m 地点付近から急激に増大したり減少したり大きく変動している。図-3の断面図からもわかるように、 -60 m 地点より海側は、 -110 m 地点から -80 m 地点にかけての比較的平らな領域よりも 1.8 m 以上低いことから、波による漂砂量の影響を受けている可能性がある。そこで、波の遡上端のデータを基に波による

漂砂の影響を検討する。

図-9は、ごみの分布などから得られた波の遡上端の経時変化を示したものである。1995年6月からの1年間に、植物の海側限界点である沖方向距離 -65 m 地点に達した遡上波の回数は2回である。よって、 -65 m 地点より陸側での地形変化は波の影響をほとんど受けなかったと言える。

ここで、植生の海側限界点よりやや陸側で、波と植生の影響をほとんど受けなかったと考えられる沖方向距離 -67.5 m 地点における飛砂量の実測値と計算値とを比較する。実測値は地形変化から求め、計算値は堀田（1985）を参考に河村公式に基づいて求めた。図-9によると、1995年9月以降、平均の遡上位置は -20 m 付近であり、そこから -67.5 m 地点までは 40 m 以上離れている。Hotta（1988）によると浜幅が 10 m 以上であれば河村公式が適用可能なので、 -67.5 m 地点における飛砂量を河村公式で推定することは妥当であると言える。

風向きを α_w （HORS延長上沖からの風を 0° とし反時

計回りを正とする), 重力加速度を g , 空気の密度を ρ_a , 風の摩擦速度と風による砂粒子の流動開始摩擦速度をそれぞれ u_* , u_{*c} とすると単位幅単位時間当たりの陸向き飛砂量 q は以下の式で表される。

$$q = \cos \alpha_w K (\rho_a / g) (u_* + u_{*c})^2 (u_* - u_{*c}) \quad \cdots (1)$$

ここで, K は無次元係数で本計算では 0.8 とした。

摩擦速度 u_* は focal point (u', z') を考慮し, 風速の鉛直分布に対数則を仮定することによって得られた次式を使い, HORS 先端の風速 u_z (高さ $z=7$ m) より求めた。

$$\left. \begin{aligned} u_* &= (u_z - u') / (5.75 \log_{10}(z/z')) \\ u' &= 8.94 d (\text{m/s}), \quad z' = 10 d (\text{mm}) \end{aligned} \right\} \quad \cdots (2)$$

ここで, d は砂の粒径で mm で与える。本調査領域では $d=0.2$ mm である。

流動開始摩擦速度 u_{*c} は無次元係数 A を 0.1 とおいた次式より求めた。

$$u_{*c} = A \sqrt{gd(\rho_s - \rho_a) / \rho_a} \quad \cdots (3)$$

計算では, 10 mm/hr 以上の雨が合った場合にはその時点から 24 時間後までの飛砂量を 0 とした。

図-10 は地形変化より求めた -67.5 m 地点の飛砂量の実測値と式 (1) より求めた計算値とを比較したものである。両者の相関係数は 0.78 と高いものの, 平均誤差は 46 kg/m/day であり, 陸から海に向かう風の場合や降雨があった場合の飛砂量の計算に工夫が必要であると思われる。

続いて, 後浜から砂丘前面にかけての地形変化と植生との関係を検討するために, 後浜から砂丘前面にかけての飛砂量の岸沖分布と 4. で検討した植物の繁茂指数と

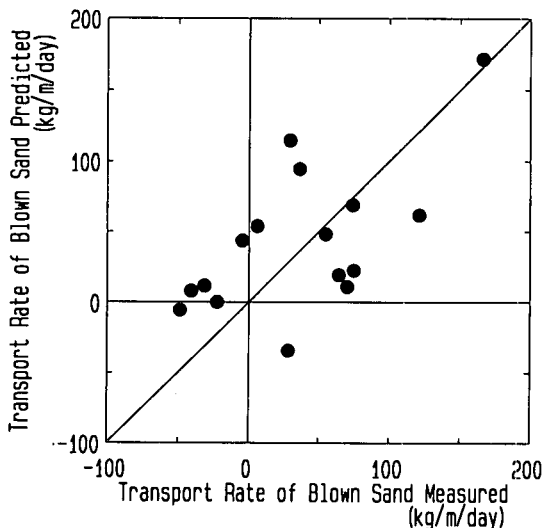


図-10 -67.5 m 地点における飛砂量の実測値と計算値との比較 (横軸が実測値, 縦軸が計算値を表し, 直線は実測値=計算値を表す)

の関係を調べた。

地形変化より得られた飛砂量の岸沖分布のうち, 植生の海側境界点よりやや陸側の -67.5 m 地点における飛砂量が 30 kg/m/day 以上のケースについて, -67.5 m 地点における飛砂量で無次元化した飛砂量 y の岸沖分布を図-11 に示した。横軸は -117.5 m 地点から -67.5 m 地点までの距離で無次元化した沖方向距離 x (-117.5 m 地点を基準) を表している。この図から飛砂量の分布形が凸型と凹型とに大別されることがわかる。

そこで, これらの分布形を

$$y = ax^2 + (1-a)x \quad \cdots (4)$$

で近似し, この係数 a と植物の繁茂指数との関係を調べ, 両者の相関を図-12 に示した。

植物の繁茂指数と係数 a との間には正の相関があり, 植物が繁茂していたときには係数 a の値がプラス側で, 凹型の飛砂量分布形, すなわち, -67.5 m 地点から陸にかけて飛砂量が急激に減少する分布形となっていたのに

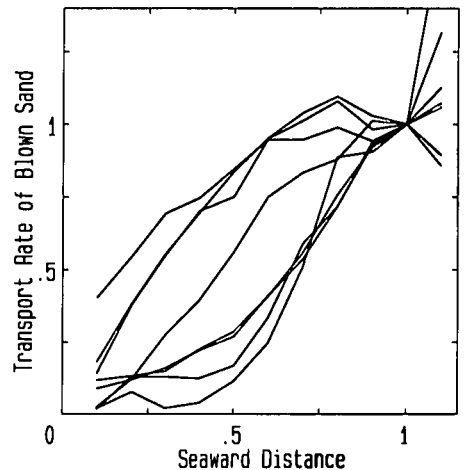


図-11 無次元飛砂量の岸沖分布

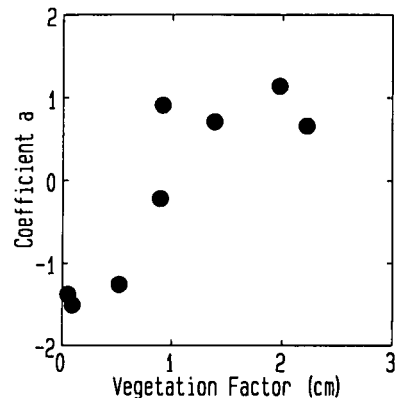


図-12 植物の繁茂指数と係数 a との関係

対して、植物がほとんど生えていなかったときには係数 a の値がマイナス側で凸型の飛砂量分布形、すなわち、飛砂量が -67.5 m 地点よりも陸側で若干増加し、その後減少する分布形となっていた。これは、植物が繁茂していたときには、海からの風によって運ばれた飛砂が植物によって捕捉されたため飛砂量が植生の海側限界点から急激に減少したのに対して、植物が枯れていたときには植物による飛砂の捕捉が無いため植物の海側限界点を過ぎても飛砂量がなかなか減少しなかったことによると考えられる。図-4に見られた季節による堆積位置の違いは、この飛砂量分布形の違いが原因であると考えられる。

6. おわりに

海から陸にかけての風が卓越する海岸における現地観測の結果、高さ 10 cm 程度の植物が後浜から砂丘前面にかけての地形変化に影響を与えることが明らかとなった。すなわち、植物が繁茂していたときには、植物の海側限界点から砂丘根元にかけての領域の海側で飛砂による堆積が起こっていたのに対して、植物が枯れていたときには、砂丘側で堆積が起こっていた。これは、植物による飛砂の捕捉の有無が原因であると考えられる。

最後に、本調査をたびたび手伝ってくださった当所 柳嶋慎一氏、中宮利之氏に感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 仲座栄三・津嘉山正光・砂川勇二・大山幸徳 (1991): 捕砂・留砂機能を有する植生による砂浜の維持システムに関する研究, 海岸工学論文集, 第 38 巻, pp. 336-340.
- 成瀬敏郎・福本 紘・中西弘樹 (1992): 日本の海浜に見られる植生帯と地形断面形および堆積物の関係, 地形, 第 13 巻, 第 3 号, pp. 203-216.
- 沼田 真 (1978): 植物生態の観察と研究, 東海大学出版会, 275 p.
- 堀田新太郎 (1985): 飛砂, 本間 仁監修/堀川清司編 海岸環境工学, 東京大学出版会, pp. 191-209.
- 堀川清司・堀田新太郎・久保田 進・針貝聡一 (1981): 海岸における飛砂について, 第 28 回海岸工学講演会論文集, pp. 574-578.
- Davidson-Arnott, R. G. D. and M. N. Law (1990): Seasonal patterns and controls on sediment supply to coastal foredunes, Long Point, Lake Erie, Coastal Dunes: Form and Process edited by Nordstrom, K. F., N. P. Psuty and R. W. G. Carter, John Wiley & Sons Ltd, pp. 177-200.
- Hotta, S. (1988): Sand transport by wind, Nearshore Dynamics and Coastal Processes—Theory, Measurement, and Predictive Models—edited by K. Horikawa, University of Tokyo Press, pp. 218-238.