

# 石川県千里浜海岸における沿岸砂州の変動に関する基礎的研究

## A FIELD STUDY ON SANDBAR MIGRATION ON THE CHIRIHAMA BEACH, JAPAN

早川和宏<sup>1</sup>・由比政年<sup>2</sup>・石田啓<sup>3</sup>

Kazuhiro HAYAKAWA, Masatoshi YUHI, Hajime ISHIDA

<sup>1</sup>工修 金沢大学大学院自然科学研究科博士後期課程 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

<sup>2</sup>正会員 博(工) 金沢大学理工研究域環境デザイン学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

<sup>3</sup>正会員 工博 金沢大学理工研究域環境デザイン学系 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

Long-term migrations of sandbars on the Chirihama Beach, Japan, have been investigated using a set of field surveys collected over 9 years. The typical profile configurations are characterized by the presence of multiple bars. The movements of the bars are significant. For the time variation, it is shown that the net offshore periodic migrations of bars have been repeated. The length of one cycle is approximately 8 years, and the interval between each cycle is approximately 3 to 4 years.

**Key Words :** multiple sandbars, periodic migration, beach profiles, shoreline change, field survey, morphology, erosion

### 1. はじめに

千里浜海岸は、羽咋市と宝達志水町に跨る延長約13kmの押水羽咋海岸のうち、能登有料道路今浜ICから羽咋川に続く延長約8kmの砂浜海岸の総称である(図-1a)。図-2に示す断面図より、海底地形の特徴を見ると、水深5mを中心として砂州が2段、3段に発達しており、海底勾配は約1/80~1/200である。また、図-3は、1975年に国土交通省により撮影された、千里浜海岸周辺の航空写真を抜粋し、合成したものであり、この写真からも3~4段の砂州が発達していることが確認できる。

連続する長大な砂浜海岸である千里浜海岸は、車両の走行が可能な「千里浜なぎさドライブウェイ」を有することで全国的に知られており(図-1b)、石川県加越沿岸基本計画(2002年度策定)の中でも「集いと輝きのゾーン」として位置づけられている。しかしながら、近年、砂浜幅の縮小が顕著になり、ここ20年間では、最大で約50mの汀線後退が報告されている<sup>1)</sup>。石川県では、2005年に千里浜海岸保全対策委員会が設置され、保全対策の検討が進められている<sup>1)</sup>。

千里浜海岸に代表される多くの砂浜海岸に形成される多段砂州の時空間変動は、外浜の地形変化を特徴付ける基本要素の一つであり、沿岸域の底質移動や海浜変形、沿岸生態系とも密接な関連を有している。このため、沿岸砂州の生成および発達・移動機

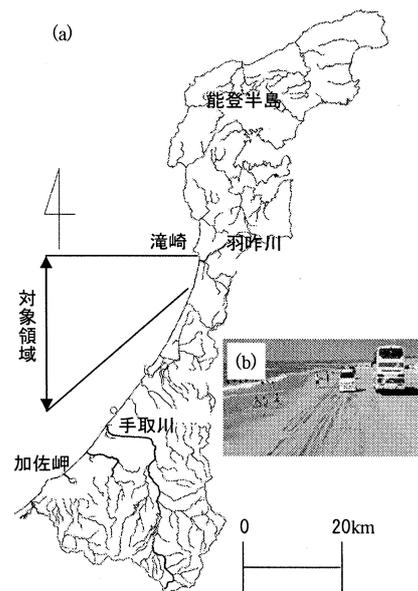


図-1 対象領域位置図

構に関する研究は国内外で広く進められてきた<sup>2),3),4)</sup>。しかしながら、沿岸砂州の変動、特に、長期・広域の変化特性については、多くの要因が複合的に関与しており、依然として不明な点も多く残されているのが現状である<sup>5)</sup>。沿岸砂州の形成位置について、加藤(1984)<sup>6)</sup>は、海底勾配と長周期波の波高によって規定される砕波限界周波数の反射定常波

との関係を指摘している。一方で、国内外の多くの地点において、砂州が、1~20年程度の周期で沖向き移動を繰り返していることも報告されている(7,8,9)。

本研究では、千里浜海岸における海浜地形変化に関する基礎的研究の一環として、国土交通省金沢河川国道事務所による既往深淺測量結果(4測線, 1998~2006年)をもとに、岸沖方向の断面形状、多段砂州の発達規模および離岸距離の経年変化、さらには、測量期間中の汀線変化量との関連について解析を行い、多段砂州の変動特性について考究する。

## 2. 対象領域の概要

石川海岸松任地区徳光沖合1500m地点(図-1中の丸印:水深約15m)に設置された海象計の観測結果によると、夏期の波向はN~Wと広範であり、NNW~NWにやや卓越する。また、夏期の波高は有義波高1m以下のものが多く平穏な様相を呈する。冬期の波向はNW~Wに卓越し、有義波高1m以上の高波浪が頻繁に來襲する。春期及び秋期は遷移期間となっているが、高波浪の出現頻度は秋期の方が高い。年最大有義波高は、5~8m程度に達する。

流況に関しては、加越沿岸沖合に、北向きの対馬海流が存在している。既往の観測結果によると、冬期の季節風発達時には、北向きの流速が卓越する傾向があり、水深15~30mの沖合においても、10cm/s以上の流速が生じ、細かい底質の移動や有意な地形変化が認められている<sup>10)</sup>。また、石川県によって、千里浜から沖7~14kmの海域で流況観測が行われており、北上する対馬海流が能登半島の付け根の滝崎沖で反転し、海岸に向かう南向きの流れが生じるとの結果が得られている<sup>11)</sup>。観測された流速は大半が20~30cm/sであり、石田ら(1984)<sup>11)</sup>は、加越沿岸沖合を北上してきた浮遊砂が、滝崎沖で南下する流れによって千里浜へ漂着し、海浜形成に寄与していると推定している。

対象領域周辺(図-2中の高松~羽咋一ノ宮)の汀線近傍における代表的な粒径は0.15mm前後であり、大部分が細砂である。図-2における調査地点のうち、高松と一ノ宮の2地点について、汀線直角方向水深50mまでの粒度分布特性を検討した結果によると、両地点において、粒径( $d_{60}$ )は岸沖方向にほとんど変化が無く、均等係数は1.0~2.0の範囲内であり、均一な砂が岸沖方向に分布している<sup>11)</sup>。

## 3. 沿岸砂州の変動特性

本研究では、国土交通省金沢河川国道事務所において、9年間実施されてきた深淺測量結果(No.1,3,40,60の4測線, 図-3参照)に基づいて海底地形変化、特に、沿岸砂州変動の解析を行った。今回使用したデータは1998年~2006年に取得されたもので

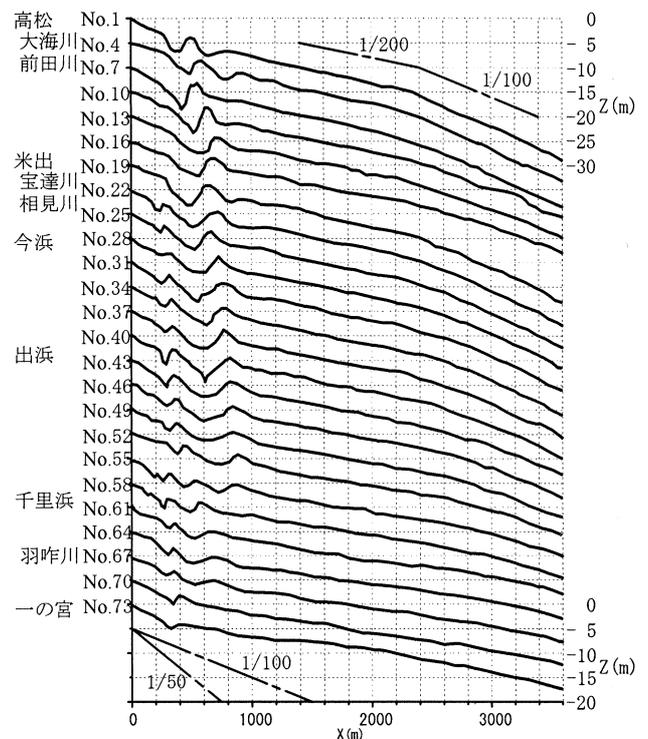


図-2 押水羽咋海岸(千里浜)の断面図  
(石田ら(1984)をもとに作成)

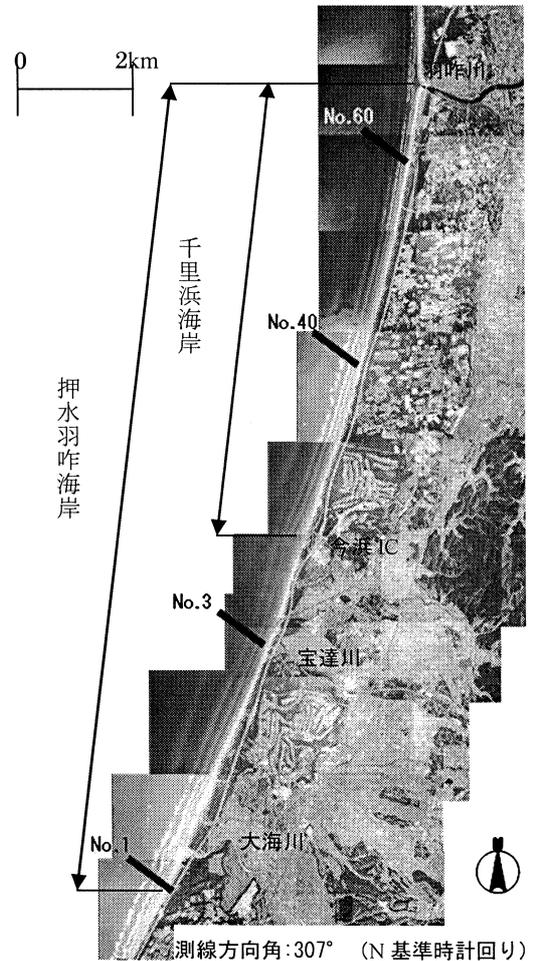


図-3 航空写真(押水羽咋海岸)

ある。なお、測量は、年に1回、主に秋季(9~11月)に実施されている。岸沖方向の計測範囲は、測量基点から1~3km程度であり、この内、測量基点から1.5kmまでのデータを使用した。

(1) 砂州の周期的沖向き移動の存在

図-4に、対象領域内の4測線について、断面地形の経年変化を示す。ここで、横軸は測量基点からの沖向き距離を表す。図の右側には測量の実施年月を合わせて表示している。

いずれの測線についても、複数の砂州の存在と活発な移動が確認できる。対象領域全域において、砂州は多くの場合2~3段であり、最多で5段の場合が確認された。各測線における砂州比高の最大値は、およそ3.3~4.6mの範囲で推移しており、大規模な

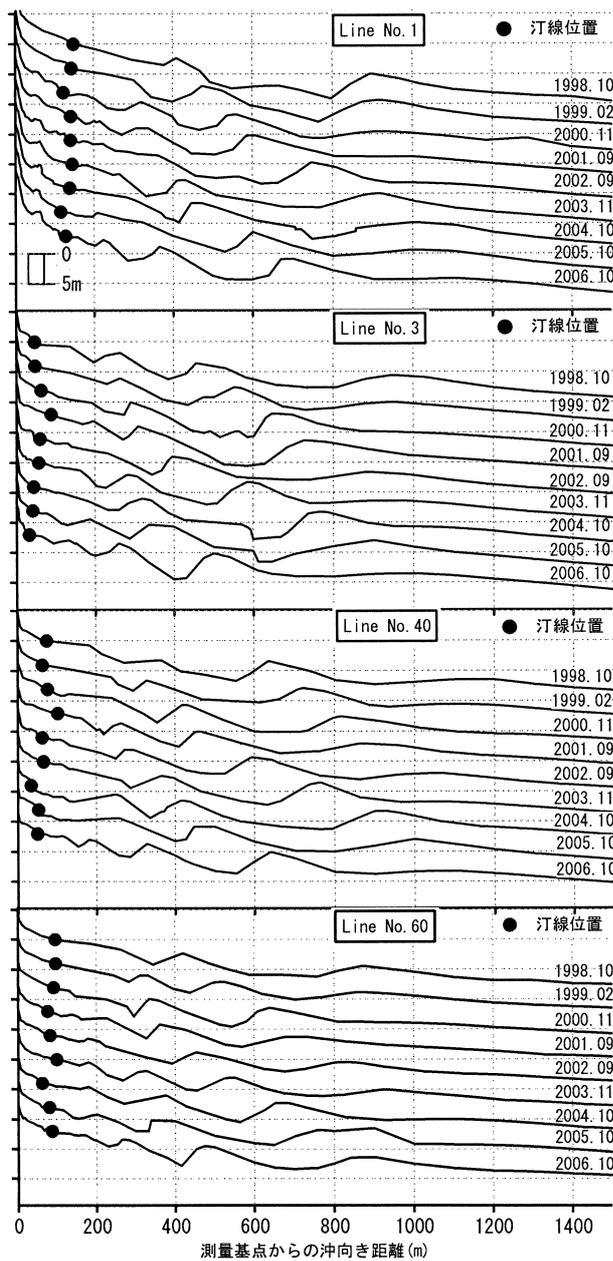


図-4 断面形状と汀線位置の経年変化

砂州の発達が見られる。いずれの測線においても、沖向きの砂州移動が周期的に観察され、世界各地で報告されている移動形態(Net Offshore Migration)<sup>7),8),9)</sup>と類似のパターンが確認できる。最も沖側に位置する砂州の頂部位置は、測量基点からの沖向き距離およそ600~1200mの範囲で移動している。黒丸の位置は、朔望平均干潮位(T.P.+0.01m)における汀線的位置を示しており、長期的な後退傾向と振動的な変化が共存して見られる。汀線変動と砂州位置の関連については後述する。なお、以下の議論においては、岸沖方向の離岸距離として、黒丸で示した汀線位置からの距離をとるものとする。

(2) 断面地形形状の基本特性

解析期間(1998~2006年)中における、対象4測線の平均地盤高を図-5に示す。期間平均地盤高を見ると、いずれの測線においても、海底勾配は汀線付近では1/50程度である。平均地形の勾配はその後沖に向けて徐々に緩やかになっており、水深6m付近で平坦に、さらに沖側では再び緩やかな、海底勾配1/100程度の斜面へと変化している。離岸距離約1300mより沖側における海底地形変化がほとんど見られず、移動限界水深は8~9mであることが確認できる。平均地盤高分布の定性的な特性は、全測線でおおよそ共通である。

図-5には、期間最大および最小地盤高の分布も合わせて示した。これらは、砂州クレスト頂部及びトラフ底部の包絡線におおよそ対応している。最大地盤高の変化傾向は全測線で類似しているが、最低地

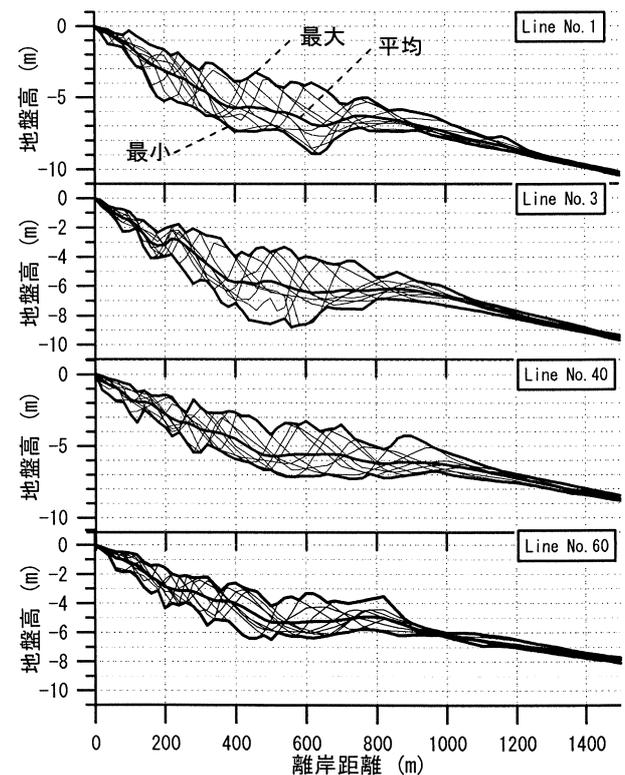


図-5 期間最大・最小・平均地盤高

盤高については、以下のような特徴が見て取れる。測線 40 および 60 においては、最低地盤高は、平均地盤高と同様に、沖に向けて全般に単調低下する傾向を示している。これに対し、測線 1 および 3 では、最小地盤高は、汀線近傍から低下した後に極小、極大を取ってその後減少するという形になっている。これは、測線 40,60 の最低地盤高、および、全測線の平均・最大地盤高とは異なる変化傾向である。

### (3) 砂州形状および離岸距離の全体特性

次に、砂州比高や頂部位置等の経年変動について解析を行った。解析にあたっては、まず、各測線上の観測データから、計 111 個の砂州を抽出した。次に、砂州頂部とトラフでの水深の関係や、沖向きを正として、朔望平均干潮位 (T.P.+0.01m) を基準とした離岸距離、比高 (砂州頂部高とトラフ底部高の差、図-6 参照) の存在範囲など、個々の砂州形状に関する基本特性を検討した。ここでは、測量誤差を考慮して、トラフ底部高と砂州頂部高の差 (比高) が 20cm より大きいもののみを砂州として抽出した。また、砂州頂部 (あるいはトラフ底部) となる点の地盤高が 2 測点以上で一致 (差が 20cm 以内) する場合には、離岸距離および地盤高として、該当測点間の平均値を取って対応した。

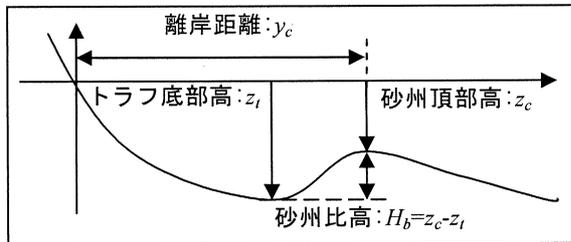
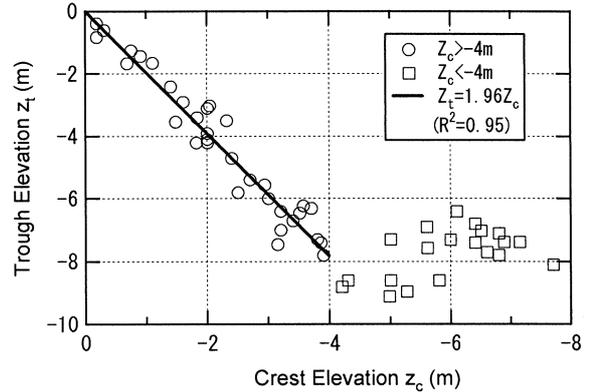


図-6 砂州諸元の定義

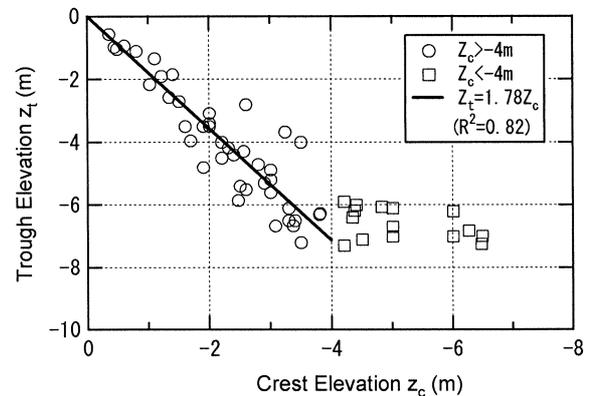
砂州頂部高とトラフ底部高の関係を図-7 に示す。ここでは、先の最低地盤高の解析で見られた傾向の違いを考慮し、測線 1,3 および測線 40,60 の 2 つの組に分けて検討を行った。汀線付近で発生した砂州がその規模を拡大しながら沖向きに移動する間 (頂部水深がおおよそ 4m までの区間に相当) は、砂州頂部地盤高とトラフ底部地盤高は比例的に増加する。 $Z_c > -4m$  の範囲を対象とした最小自乗近似直線の勾配は、測線 1 および 3 で 1.94 ( $R^2=0.94$ )、測線 40 および 60 で 1.78 ( $R^2=0.82$ ) となった。これは、米国西海岸に対して報告されている値 (=1.69)<sup>12)</sup> に近く、石川海岸松任地区に対して示された値 (=1.51)<sup>13)</sup>、および大森ら (1971)<sup>4)</sup> が日本の沿岸に対する平均値として示した値 (=1.47) より大きい結果となった。ただし、上記の比較対象値は、 $Z_c$  の範囲指定を考慮せずに算出された値である。

頂部水深が 4m を超える範囲においては、トラフ底部高は、測線 1,3 ではゆるやかに上昇し、測線 40,60 では、移動限界水深付近の一定の値を取っている。この結果、図-8 に示すように、砂州の比高

は、最初、沖へ移動するにつれて (頂部水深が大きくなるにつれて) 大きくなり、ある距離で最大となった後に減少する。これは、既往の報告 (たとえば、大森ら、1971) ととも一致する。砂州の比高は、頂部水深 4.2m 周辺 (離岸距離 600~700m に相当) で、最大 4.6m 程度の大規模なものとなっている。



(a) 測線 1 および測線 3



(a) 測線 40 および測線 60

図-7 砂州頂部地盤高とトラフ底部地盤高

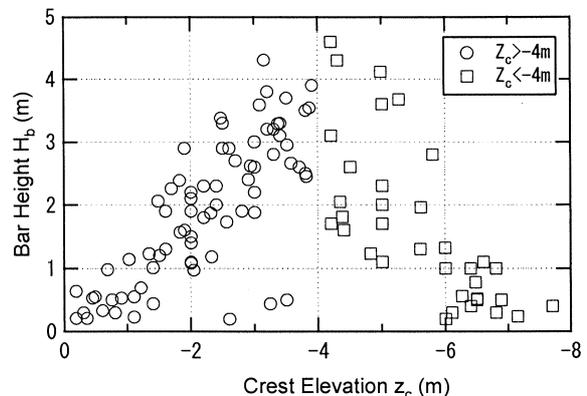


図-8 砂州比高と頂部高

### (4) 砂州比高・離岸距離の経年変化

図-9 は、横軸に測量年月、縦軸に頂部離岸距離を取り、砂州比高をプロットの大きさで相対的に表現し、砂州位置および比高の経年変化を表示したものである。砂州は、当初、離岸距離 200m 付近で形

成され、比高を増しながら沖向きに移動して、離岸距離 400~700m 付近で最大比高をとった後に、離岸距離 1000m 前後に達すると消失している様子が確認できる。砂州が形成されてから、沖合に消失するまでの期間は 8 年程度と推定される。また、この一連のサイクルは、4 年程度の間隔で繰り返されており、観測期間中に約 2~3 サイクルの沖向き移動が確認できる。

砂州の沖向き移動速度は、離岸距離 600~800m までは 100m/year 前後であり、800~900m 付近では 200m/year 前後、これより沖側では、大きくても 100m/year 程度となっている。一方、汀線近くの砂州では、岸側に移動して消失（武田(2003)<sup>14</sup>）によるところのバームに変化したと考えられるものも存在する。

図-10 は、各測線で観測された砂州について、砂州比高の経年変化を示したものである。図中の凡例による分類は同一と判断した砂州を示す。先に述べたように、砂州は沖方向に向けた移動・消失を繰り返しているが、その過程において、初期にその規模（比高）を増加させた後、離岸距離 400~700m 付近で最大の比高を取り、その後比高を減じながら沖に向けて消失していく。砂州比高が最大となるのは、最も沖側に位置していた砂州が沖合に抜けるように消失し、それまで沖側から 2 番目に位置していた砂州が、新たに最沖側の砂州となる時点におよそ一致している。

### (5) 汀線変動の基本特性

図-5中の黒丸印は、汀線の位置を表す。汀線位置について、1998年10月を基準とした各測量年（1999~2006年）における変化量と図-9を比較検討した結果は以下のようにまとめられる。

測線1では、汀線位置は、後退と前進を繰り返しているが、期間全体を通しては後退傾向にある。汀線の後退は、2000年と2005~2006年に特に大きく、その変化量は約20~35mである。これは図-5において、最沖に位置していた砂州が離岸距離1000m以遠くに移動し、消失していく段階と対応している。測線3の汀線位置は、2001年までは前進傾向にあるが、その後、後退傾向に転じている。2001年時の前進量は約40mである。汀線が前進傾向を示す期間では、最も沖側の砂州は、600m付近に位置し、その規模も大きい（比高で3.9~4.2m）。一方、後退が最も顕著な2006年では、最沖の砂州は、沖に向けて消失する直前である。測線40の汀線位置は、2000~2001年までは前進傾向、2002年以降は後退傾向を示している。後退のピークは2004年の約40mであるが、これは、それまで最も沖に位置していた砂州が消失した翌年に相当する。測線60の汀線位置は、2003年には約5m程度前進しているものの、期間全般において後退傾向にある。最大の後退幅は2004年の約35mである。これは、最も沖側の砂州が、沖側に消失し

ていく年と一致している。

長期的な侵食トレンドを除いて、汀線の振動的変化に着目すると、汀線位置が最も後退するのは、最沖に位置していた砂州が沖側に抜けるように消失し、それまで沖から2番目に位置していた砂州がその規模を拡大させる時期と多くの場合符合する結果となった。

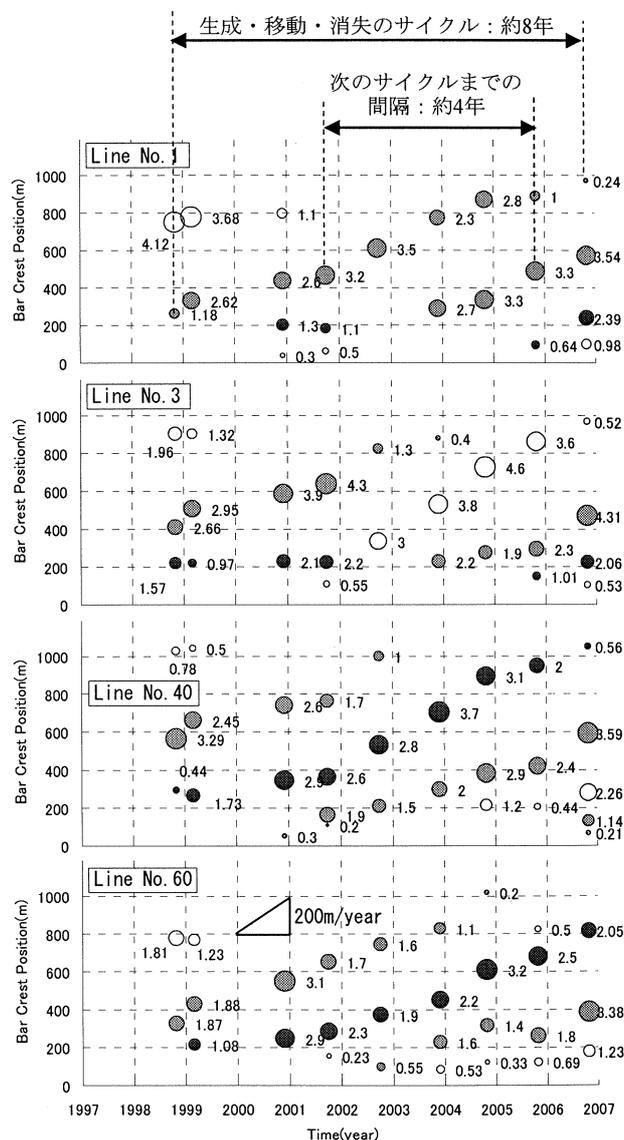


図-9 砂州離岸距離・比高の経年変化  
(円の横の数値は比高値を表す)

## 4. おわりに

本研究では、千里浜海岸周辺の海浜変形に関する研究の一環として、千里浜海岸における沿岸砂州の変動特性について検討を行った。その主要な成果は以下のようにまとめられる。

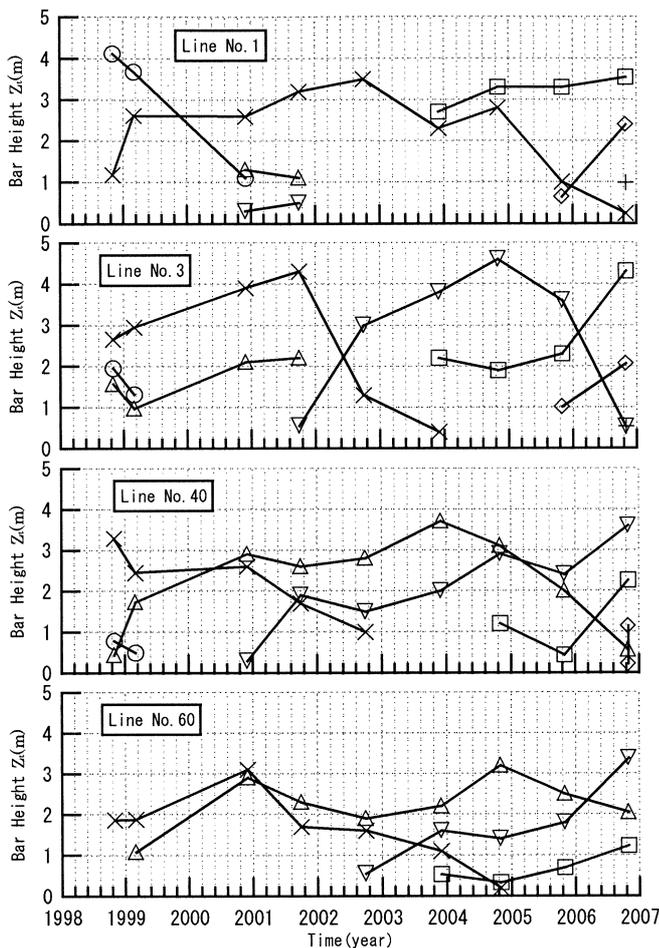


図-10 砂州比高の経年変化

### (1) 砂州の発達規模

9年間の測量データを4測線について解析し、計111個の砂州を抽出した。領域全域で砂州は一般に多段であり、沖側砂州は、最大で4.6m程度の比高を持つ大規模な形へと発達することが確認された。

### (2) 砂州の変動特性

対象領域内の沿岸砂州は、形成・沖向き移動・消失といった一連の過程を繰り返していることが観察された。形成から消失までの期間は8年程度と推定される。また、これらのサイクルの繰り返し間隔は、4年前後であり、観測期間中に約2~3サイクルの変動が確認された。沖向きの移動速度は、離岸距離600~800mまでは100m/year前後、800~900m付近では200m/year前後、これより沖側では、大きくても100m/year程度となることが確認された。

### (3) 砂州の変動と汀線移動の関係

汀線岸沖方向位置の振動的変化に着目した場合、汀線位置が最も後退するのは、最も沖側に位置していた砂州が沖合に抜けるように消失し、それまで沖側から2番目に位置していた砂州が成長して比高を

増大させる時期とおよそ符合する結果となった。

以上、本論文では、砂州断面形状の基本特性や、離岸距離の経年変化等、測量データそのものから得られる沿岸砂州の変動特性について示した。今後、経験的固有関数法(EOF)などを用いて、沿岸砂州の周期変動に寄与する特徴的モードの抽出を試み、変動特性のより詳細な把握を図っていきたい。また、砂州変動の沿岸方向モードについては、今回用いた測量データのみでは沿岸方向の解像度が充分でないと考えられるため、今後、航空写真等を援用するなどして検討を進めていきたい。

謝辞：本研究で使用した測量データは、国土交通省北陸地方整備局金沢河川国道事務所より提供いただいた。ここに記して謝意を表する。

### 参考文献

- 1) 石川県：千里浜海岸保全対策検討委員会（オンライン），<http://www.pref.ishikawa.jp/kasen/chirihama-i>，参照 2008-08-22.
- 2) Komar, P. A.: *Beach Processes and Sedimentation*, Second Edition, Prentice-Hall Inc., 544p, 1998.
- 3) Dean, R. G., and R. A., Dalrymple: *Coastal Processes with Engineering Applications*. Cambridge Univ. Press, 475p, 2002.
- 4) 大森昌衛・茂木昭夫・星野通平：浅海地質学，東海大学出版会，445p, 1971.
- 5) Winberg, K.M. and A. Kroon: Barred beaches, *Geomorphology*, Vol.48, pp. 103-120, 2002.
- 6) 加藤一正：長周期波と多段砂州の成因について，第31回海岸工学講演会論文集，pp.441-445, 1984.
- 7) Kuriyama, Y. : Medium-term bar behavior and associated sediment transport at Hasaki, Japan. *J. Geophysical Res.*, Vol. 107, No. C9, 3132, doi:10.1029/2001JC000899, 2002.
- 8) Ruessink, B. G., K. M. Wijnberg, R. A. Holman, Y. Kuriyama, and I. M. J. van Enckevort: Intersite comparison of interannual nearshore bar behavior, *J. Geophysical Res.*, Vol.108, No.C8, 3249, doi:10.1029/2002JC001505, 2003.
- 9) Wijnberg, K.M. and J.H.J. Terwindt: Extracting decadal morphological behavior from high-resolution, long-term bathymetric surveys along the Holland coast using eigenfunction analysis, *Marine Geology*, Vol.126, pp.301-350, 1995.
- 10) 田中茂信・佐藤慎司・川岸真一・石川俊之・山本吉道・浅野 剛：石川海岸における漂砂機構，海岸工学論文集，第44巻，pp.661-665, 1997.
- 11) 石田啓・高瀬信忠・長原久克・浦良一：渚ドライブウェイを有する千里浜海岸の現況と侵食対策，第31回海岸工学講演会論文集，pp.355-359, 1984.
- 12) Keulegan, G. H.: Depths of offshore bars, *Engineering Notes* No. 8, Beach Erosion Board, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS., 1945.
- 13) 由比政年・山田文彦・榎田真也・石田啓：石川海岸松任地区における沿岸砂州の長期変動特性，海岸工学論文集，第52巻，pp.566-570, 2006.
- 14) 武田一郎：バーの段数と後浜上限高度との関係，地形，第24巻第4号，pp.407-417, 2003.