

複素主成分分析を用いた沿岸砂州の変動特性の解析

栗山善昭*・李在炯**

1. はじめに

沿岸砂州は海浜流や沿岸漂砂, さらには生態系にも影響を与えることからその変動特性が古くから調べられてきている。最近では, 沿岸砂州は 1 年～数年の周期で沖へ移動することが明らかにされてきているものの (Lippmann *et al.*, 1993; Ruessink and Kroon, 1994), 新たに形成される沿岸砂州の底質がいつ, どこから供給されるかなど沿岸砂州の変動には依然として不明な部分が多い。そこで, 本研究では現地において長期かつ高頻度に観測された断面データを複素主成分分析を用いて解析することにより沿岸砂州の変動特性の把握を試みた。

本研究で用いる複素主成分分析は進行波モードの変形の解析に有利な手法であり, 最近, 地形変化の解析に用いられるようになってきている (Liang and Seymour, 1991; 横木ら, 1998; 北野ら, 1999)。複素主成分分析の断面データ解析に対する有効性を確認することも本研究の目的の一つである。

2. 断面データの概要

本論文で使用するデータは, 茨城県の鹿島灘に面する波崎海洋研究施設 (HORS) において休日を除く 1 日 1 回観測された後浜から水深約 6 m の地点にかけての 1987 年から 1994 年までの断面データである。図-1 は HORS の位置を示しており, 図-2 は 1987 年から 1994 年までの 8 年間の平均断面と地盤高さの標準偏差を示している。沖方向距離 200 m の地点 (P 200 m 地点; 以下, HORS 沿いの地点は P に沖方向距離を付けて示す) よりも沖で沿岸砂州が頻繁に形成され移動するため, P 200 m 地点よりも沖で標準偏差が大きくなっている。

図-3 は P 150 m 地点よりも沖の領域における平均断面からの地形変動の経時変化を示したものである。白い領域が平均断面よりも堆積している領域を, 黒い領域が平均断面よりも侵食している領域を示しており, 図の上方が沖向きを示している。この図から, 波崎海岸では P 180 m 付近に形成された沿岸砂州が約 1 年のサイクル

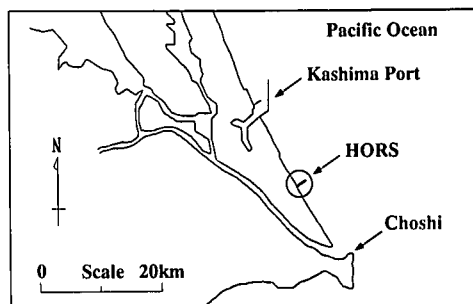


図-1 波崎海洋研究施設の位置

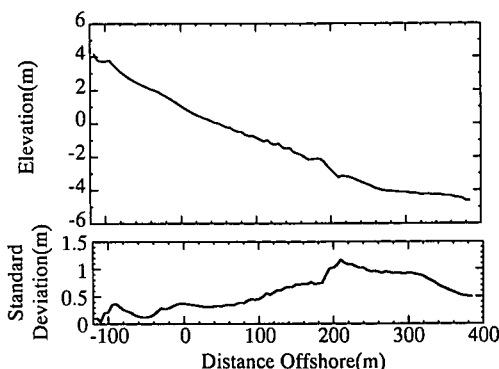


図-2 1987 年から 1994 年までの期間の平均断面と地盤高さの標準偏差

で沖に移動する地形変化が卓越していることがわかる。

3. 主成分分析による解析結果

まず, 通常の主成分分析を平均断面からの地形の変動量に対して適用した。図-4 は, モード 1 (寄与率 42%) とモード 2 (寄与率 28%) の空間の固有関数 e_1 , e_2 と時間の固有関数 c_1 , c_2 とを示したものである。モード 1, 2 とともに P 150 m 地点よりも沖側で空間の固有関数が大きくなっており, モード 1, 2 で表される地形変化が主として沖の領域におけるものであることがわかる。モード 1 では場所の固有関数 e_1 が P 170 m～P 260 m の領域で正, P 260 m～P 385 m (HORS 先端) の領域で負となっており, 時間の固有関数 c_1 は約 1 年の周期で増加と減少

* 正会員 運輸省港湾技術研究所 海洋環境部露砂研究室長
** 正会員 博(工) 運輸省港湾技術研究所 客員研究員

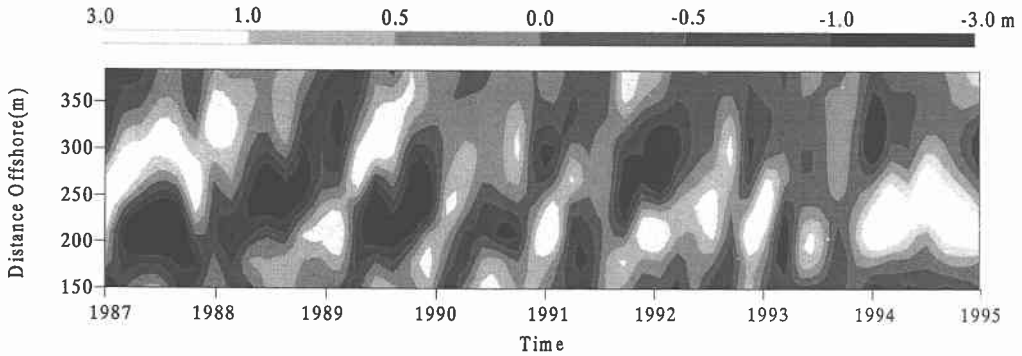


図-3 平均断面からの地形変化量：(+)が平均断面より堆積，(-)が平均断面より侵食

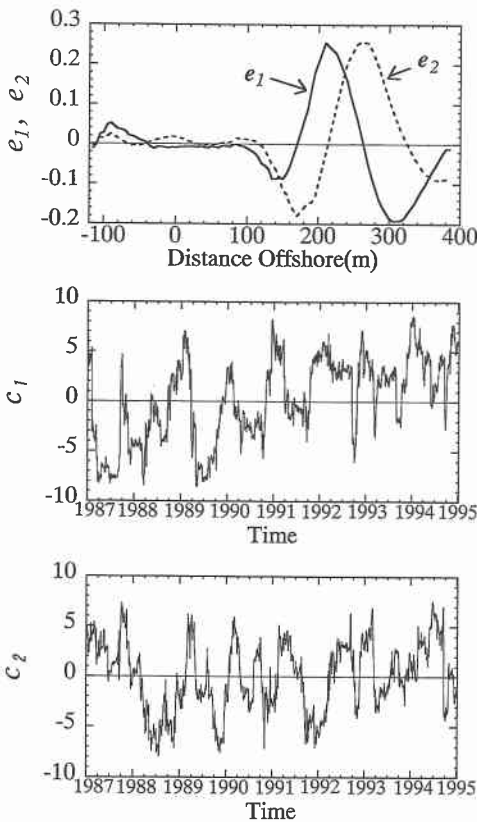


図-4 主成分分析によって得られた空間と時間の固有関数

を繰り返している。よって、モード1は図-3に見られた沿岸砂州の移動に伴って生ずるP 260 m地点よりも沖側と岸側の領域での侵食、堆積を表していると言える。

4. 複素主成分分析による解析結果

通常の主成分分析では海浜変形のリピート成分は表現することはできても、進行波成分を表現することは難しいと言われている(Liang and Seymour, 1991)。そこで、

図-3に見られた沿岸砂州の移動特性をより明確に把握するために、複素主成分分析を試みた。

図-5は複素主成分分析によって得られたモード1(寄与率54%)とモード2(寄与率15%)の時間と空間の固有関数を示したものである。図-5と図-4とを比較すると分かるように、モード1の実数部の空間の固有関数 e_{1r} は通常の主成分分析から得られたモード1の空間の固有関数 e_1 にほぼ一致し、また、モード1の虚数部の空間の固有関数 e_{1i} は通常の主成分分析から得られたモード2の空間の固有関数 e_2 とほぼ一致する。さらに、図-6から明らかなようにモード1の実数部の時間の固有関数 c_{1r} と通常の主成分分析のモード1の時間の固有関数 c_1 、ならびに、モード1の虚数部の時間の固有関数 c_{1i} と通常の主成分分析のモード2の時間の固有関数 c_2 はそれぞれ良く一致している。これらのことから、複素主成分分析のモード1の地形変化は、通常の主成分分析のモード1の地形変化にモード2のそれを加えた地形変化であることが分かる。進行波モードの変動を通常の経験的固有関数法で表現する場合には最低2つのモードが必要になることを北野ら(1999)が示しており、今回の結果はそれを裏付けていると言える。

複素主成分分析のモード1とモード2で表された地形変化の特徴を調べるためにモード1とモード2の時間の固有関数と空間の固有関数を用いて平均断面からの地形変化を再構築し、P 150 m地点より沖側の領域について図-7に示した。モード1は約1年の周期で沿岸砂州が沖に移動する地形変化を表しており、図-3の実際の地形変化に非常に近い地形変化となっている。一方、モード2は4年程度の長い周期での浅瀬の岸向き移動の上に数ヶ月程度の周期の浅瀬の岸向き移動が重なった地形変化を表している。前述したように複素主成分分析のモード1に表される地形変化は通常の主成分分析によって得られたモード1とモード2の地形変化を重ね合わせることによって表現できる。しかし、複素主成分分析のモー

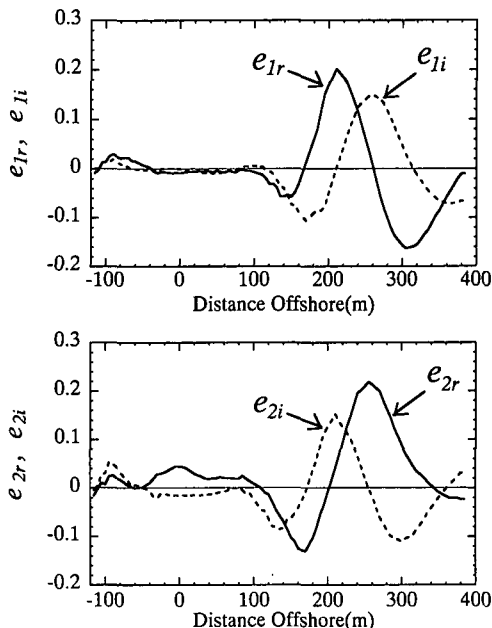


図-5 複素主成分分析によって得られた空間と時間の固有関数

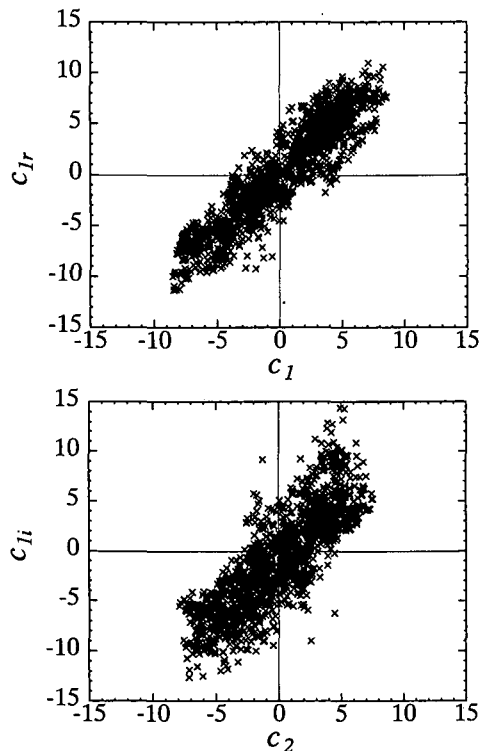


図-6 通常の主成分分析と複素主成分分析の時間の固有関数の比較

のような地形変化を分離できることが複素主成分分析を用いた解析のメリットの一つであると考えられる。

続いて、これらの地形変化における底質の移動特性を調べた。底質移動を検討する地点としては、通常の主成分分析の e_1 の正の領域と負の領域の境界、すなわち漂砂量の変動がもっとも大きい P 250 m 地点を選んだ。HORS における断面測量の岸側端である P-115 m 地点は砂丘の根元に位置しているので、それよりも陸側では漂砂量がゼロであると仮定することができる。すると、P-115 m 地点から P 250 m 地点までの土量の増減が P 250 m での漂砂量となる。図-8 はモード 1, 2 で表された地形変化の P-115 m 地点から P 250 m 地点までの土量の経時変化を示したもので、土量が減少していることは P 250 m 地点において沖向きの漂砂量が生じていることを示しており、逆に土量が増加していることは P 250 m 地点において岸向きの漂砂量が生じていることを示している。図-7 に示されたモード 1, 2 の沿岸砂州や浅瀬の移動特性からも分かるように、モード 1 では約 1 年の周期で土量が増減しているのに対してモード 2 では 4 年程度の大きな変動の上に数ヶ月の短周期の変動が存在している。

そこで、この土量変化の周波数特性を調べるためにスペクトル解析を行い、図-9 にその結果を示した。モード 1 の土量変化には周期 1 年(周波数 0.0025 1/day)のところに非常に大きなピークが存在し、次いで約 6 ヶ月(周波数 0.0055 1/day)の所に小さなピークが存在している。一方、モード 2 の土量変化には周期 2 年よりも大きい領

ド 2 で表された地形変化は通常の主成分分析によって得られたモードの重ね合わせで表現することができず、こ

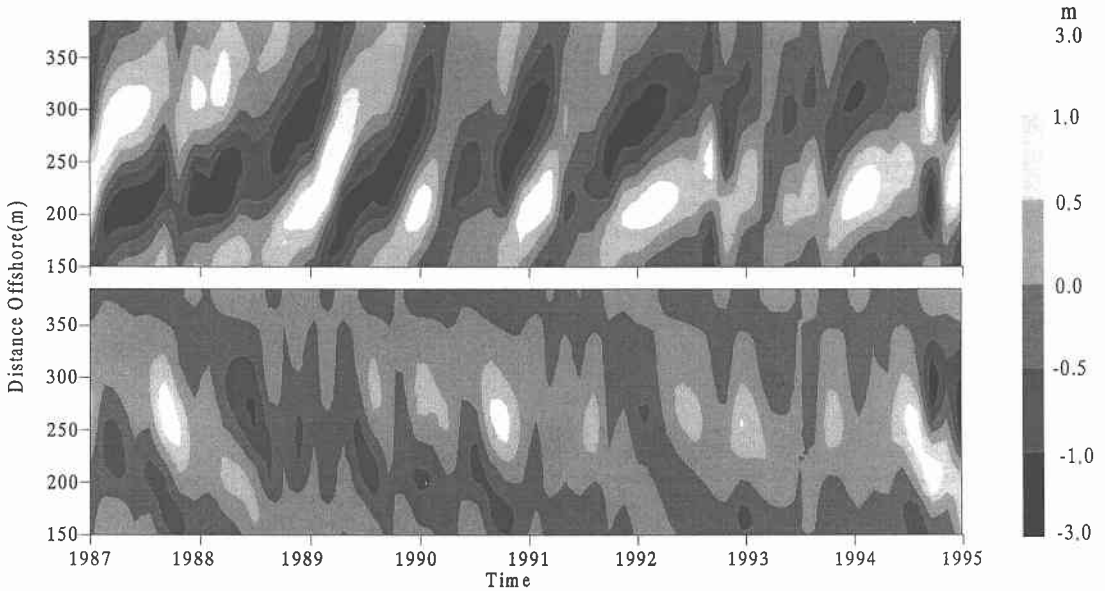


図-7 複素主成分分析のモード1(上)とモード2(下)で表された地形変化：(+)が平均断面より堆積領域，(-)が平均断面より侵食領域

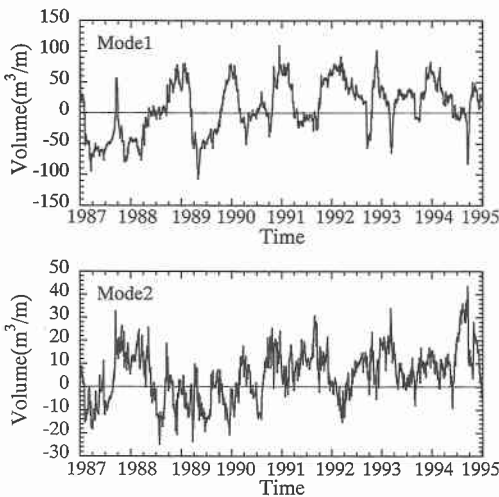


図-8 P-115 m地点からP 250 m地点までの土量変化

域でのエネルギーが大きいものの、周期1年にはピークが無く、約9ヶ月(周波数0.0035 1/day)と約6ヶ月の所に小さなピークが存在している。

最後に、この土量変化と図-7に示された地形変化との関係を検討した。地形変化を表す指標として、沿岸砂州の頂部位置を選び、1988年9月から1990年10月までの2年間の沿岸砂州の頂部位置の変動とP-115 m地点からP 250 m地点までの土量の変動とを図-10に示した。砂州の頂部位置は、P 180 m地点より沖側における堆積量の極大値が生じた地点とした。また、図では砂州の

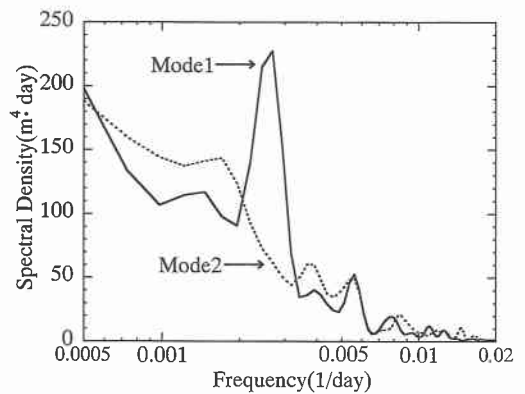


図-9 土量変化のスペクトル

移動方向と漂砂の方向を一致させるために土量の軸は下向きを正とした。

モード1では沿岸砂州が1年程度の周期で沖に移動している。しかしながら、P 250 m地点における漂砂量は砂州頂部が沖に移動する間、常に沖向きというわけではなく、沿岸砂州がP 180 m地点から沖に移動を始めP 300 m地点付近に到達するまでは沖向きとなっている(すなわち土量が減少している)ものの、砂州頂部がP 300 m地点を通過すると岸向きとなっている。これは、砂州頂部がP 300 m地点を越えると砂州が次第に小さくなりながら沖へ移動していることを示していると考えられる。また、砂州頂部がP 300 m地点を越えてからの岸向き漂砂は、P 180 m地点付近の次の砂州を形成に寄与している

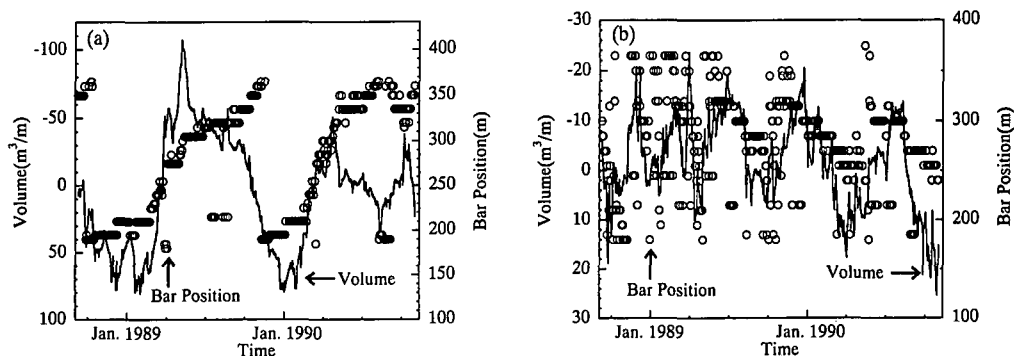


図-10 P-115 m 地点から P 250 m 地点までの土丘と砂州頂部の位置：(a)モード1 (b)モード2

ものと考えられる。

一方、モード2では特に1989年の9月以降、数ヶ月のサイクルで浅瀬が岸に移動し、漂砂量は浅瀬の移動と同様の変動をしている。すなわち、浅瀬が岸に移動するときには岸向き、沖に移動するときには沖向きとなっている。これは、この浅瀬がその体積を余り変化させずに移動していることを示していると考えられる。

5. おわりに

複素主成分分析を波崎海洋研究施設で取得された断面に対して適用したところ、沿岸砂州が形成されるバー・トラフ領域の地形変化は、主として、約1年の周期を持った沿岸砂州の沖への移動（モード1）と約4年の周期の浅瀬の岸向き移動に数ヶ月の浅瀬の岸向き移動が重なった地形変化（モード2）とによって成り立っていることが明らかとなった。さらに、P 180 m 地点付近から HORS 先端の P 385 m 地点への沿岸砂州の移動を表しているモード1における P 250 m 地点での漂砂量を調べたところ、P 250 m 地点における漂砂量は P 180 m 地点に形成された砂州の頂部が沖に移動する間、常に沖向きというわけではなく、沿岸砂州が P 300 m 地点付近に到達するまでは沖向きとなっているものの、砂州頂部が P 300 m 地点を通過した後は岸向きとなることが明らかとなった。この岸向き漂砂は P 180 m 地点付近に生じる次の砂州の形成に寄与していると考えられる。

本解析の結果求めた複素主成分分析のモード1で表される地形変化は通常の主成分分析によって得られたモードの重ね合わせで表現することができるけれども、モード2で表された地形変化は通常の主成分分析によって得られたモードの重ね合わせで表現することができない。モード2で表されたこのような地形変化を分離、抽出できることが複素主成分分析を用いた解析のメリットの一つであると考えられる。

今後は、これらの地形変化と波や流れなどの外力との関係を検討し、各モードの地形変化の原因を明らかにしていく予定である。

参考文献

- 横木裕宗・三村信男・佐藤圭輔 (1998): 主成分分析を用いた大洗港周辺の海浜地形解析, 海岸工学論文集, 第45巻, pp. 571-575.
- 北野利一・中野 晋・岡 彰紀・間瀬 肇 (1999): 主成分解析による新たな地形変動分析法に関する理論的検討, 海岸工学論文集, 第46巻, pp. 626-630.
- Liang, G. and R. Seymour (1991): Complex principal component analysis of wave-like sand motions, Proc. Coastal Sediments '91, ASCE, pp. 2175-2186.
- Lippmann, T. C., R. A. Holman and K. K. Hathaway (1993): Episodic, nonstationary behavior of a double bar system at Duck, North Carolina, U.S.A., 1986-1991, J. Coastal Res., Special Issue, 15, pp. 49-75.
- Ruessink B. G. and A. Kroon (1994): The behaviour of a multiple bar system in the nearshore zone of Terschelling, the Netherlands: 1965-1993, Mar. Geol., 121, pp. 187-197.