

## 11.2 積雪寒冷地の河口域海岸の形成機構解明と保全に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 27

担当チーム：寒冷沿岸域チーム

研究担当者：山本泰司、大塚淳一、関口浩二

### 【要旨】

鵜川沿岸域で過去 17 年間に得られた全 29 個の深浅測量データに対して複素主成分分析（CPCA）を行い、各モードの変動パターンと波浪データ、河川流量データ、養浜土量、漁港の工事履歴との対応から、この海域の地形変化の傾向・特徴を評価した。鵜川沿岸域では比較的水深の深い領域でも波浪の影響が地形変化に大きく影響を与えている。また、南防波堤延伸と防砂堤の建設に伴い河口付近への土砂供給量が減少している。河口地形の回復には現状よりも多くの土砂を継続的に河口付近に供給する対策が必要といえる。

キーワード：海岸侵食、河口、複素主成分分析

### 1. はじめに

鵜川沿岸域には流域面積 1270km<sup>2</sup>、幹川流路延長 135km の 1 級河川、鵜川が注いでおり、河口から南東方向約 2km の地点には鵜川漁港が供用されている（図-1 参照）。河口付近の汀線は 1970 年代以降、300m 以上も後退した結果、周辺地域で越波による浸水被害が発生するようになり、また、渡り鳥の重要な中継地・餌場となっている干潟の面積が約 20ha も減少している。近年は侵食傾向が落ち着いているものの、このままの状態では将来的に地域住民の安全な生活と海岸環境の悪化を招くことが懸念されている。

本研究では、河口域海岸の地形形成機構を解明し、その結果をもとに河口域海岸の安定的な保全手法の提案を最終目標としている。研究初年度となる昨年度は、鵜川沿岸域の航空写真と既存の深浅データ、波浪データ、河川流量データ、河道横断測量データをもとに河口域海岸の地形変化特性について検討した。本年度は、より詳細に鵜川沿岸域の地形変化特性を把握するため、既存の深浅データに対して複素主成分分析（Complex principal component analysis、以下 CPCA）を行い、各モードの変動パターンと波浪データ、河川流量データ、養浜土量、漁港の工事履歴との対応から地形変化の傾向・特徴を評価した結果について報告する。

### 2. 複素主成分分析(CPCA)の概要

ここでは、深浅データに対する CPCA について説明する。深浅データの統計的解析手法の一つとして主成分分析(Principal component analysis、以下 PCA)がある。PCA

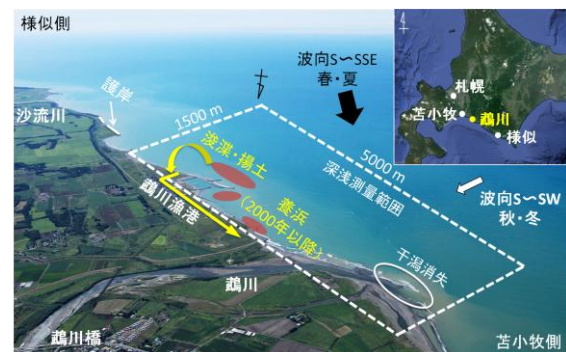


図-1 鵜川漁港と鵜川河口の位置図

は各座標の水深変化を空間関数と時間関数の積に展開し、地形変化の時間的、空間的な特徴を抽出する解析方法である。一方、CPCA は水深変化にそのヒルベルト変換を虚数部として加えた複素水深に対して PCA を行う解析方法である。PCA、CPCA とともに、ある座標の水深の重複波動的な変動（上下方向の変動）を捉えることが可能である。CPCA はさらに、他の地点の変動との位相差も考慮することが可能であり、地形の進行波動的な変動も捉えることができるという点で PCA よりも有利である。以下に、CPCA による深浅データの時間・空間関数への展開方法について内山・栗山（2002）<sup>1)</sup>を参考に説明する。

ある時期( $t$ )に得られた深浅データの測点位置を 2 次元変数( $x', y'$ )で表す水深データ  $h(x', y', t)$  を解析対象とする。このデータを加藤・吉松（1984）<sup>2)</sup>にならひ、1 次元変数 ( $x$ ) で表す水深データ  $h(x, t)$  に置き換える。この水深データのヒルベルト変換を  $\tilde{h}(x, t)$  として複素水深  $H$  を以下のよう

表-1 深浅測量時期の一覧

月	年																	
	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
2	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
8	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
9									○	○	○	○	○	○	○	○	○	

$H_{mn}$  は  $x, t$  軸方向に離散化された複素水深を表す。続いて、複素水深  $H_{mn}$  の共分散マトリクス  $B$  を以下のように定義する。

$$B = \frac{1}{N_x N_t} \sum_{n=1}^{N_x} H_{nj}^* H_{nk}$$

ここで、 $N_x$  と  $N_t$  はそれぞれ測点の数と深浅測量が行われた回数、また、 $H^*$  は複素マトリクス  $H$  に対する共役複素マトリクスを表す。さらに、この行列の  $n$  番目の固有値  $\lambda_n$  と固有ベクトル  $(u_n)_k$  を  $Bu_n = \lambda_n u_n$  と定義し、さらに、

$$(C_n)_k = \sqrt{\lambda_n N_x N_t} (u_n)_k$$

とすると  $(C_n)_k$  と固有値  $\lambda_n$  に対応したベクトル  $(e_n)_i$  が以下のように求められる。

$$(e_n)_j = \frac{1}{\lambda_n N_x N_t} \sum_{k=1}^{N_t} (C_n)_k H_{jk}$$

複素水深  $H$  はこの式の  $(C_n)_k$  と  $(e_n)_i$  を用いて、以下のように変数分離された形式で表すことができる。

$$H(x, t) = \sum_n e_n(x) \cdot C_n(t)$$

ここで、固有ベクトル  $e_n(x)$  と  $C_n(t)$  はそれぞれ複素数の空間関数と時間関数を表し、 $n$  はモードの番号（主成分の番号）を示す。また、地形変化全体に対するモード  $n$  の寄与率  $r_n$  は固有値（実数）と共分散マトリクス  $B$  のトレース  $T_r(B)$  ( $B$  の対角成分の総和) を用いて、以下のように求めることができる。

$$r_n = \frac{\lambda_n}{T_r(B)}$$

寄与率  $r_n$  が大きいモードが統計的に有意な地形変化を表現していることになる。なお、モード  $n$  で表現される水深  $h_n(x, t)$  は  $e_n(x)$  の共役複素マトリクス  $e_n^*(x)$  を用いて以下のように求めることができる。

$$h_n(x, t) = \text{real}\{(e_n^*(x) \cdot C_n(t))\}$$

### 3. CPCA による深浅データの解析結果

本研究では、鶴川沿岸域で 1994 年から 2011 年までの 17 年間、ほぼ毎年夏と冬に得られた全 29 個の深浅データを解析対象とする (表-1 参照)。測量範囲は鶴川漁港

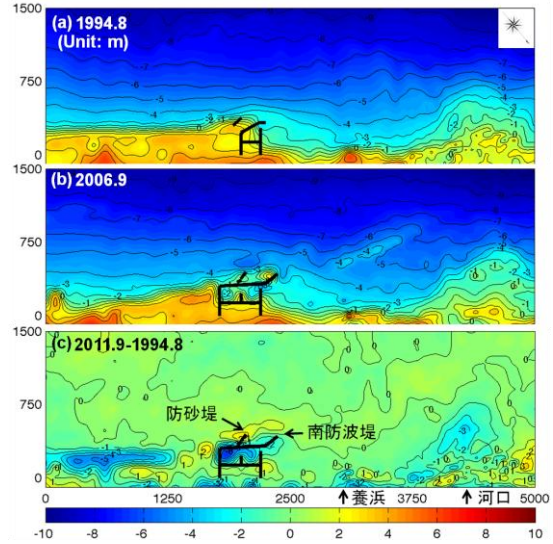


図-2 (a) 1994 年 8 月と (b) 2006 年 9 月の深浅データコンター図、(c) 1994 年 8 月から 2011 年 9 月までの水深変化量 (2000 年：漁港拡張、2002 年：南防波堤延伸、2004 年：防砂堤建設)

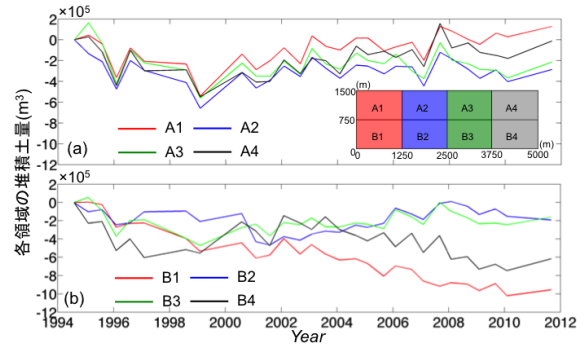


図-3 各領域における堆積土量の時間変化 (1994 年 8 月基準)

と鶴川河口を含む沿岸方向 5.0km、岸沖方向 1.5km の範囲である (図-1 点線内)。参考として図-2 に深浅データのコンター図 (1994 年 8 月、2006 年 9 月) と 1994 年 8 月から 2011 年 9 月までの水深変化量を示す。深浅データは沿岸方向、岸沖方向ともに 100m 間隔で得られているが、本研究では元データを 10m メッシュで補間したデータに対して解析を行う。

CPCA を行う前に地形変動の大まかな傾向を把握するため、図-3(a) に示すように解析範囲を同一面積の 8 領域に分割し、各領域の堆積土量の時間変化を比較した。比較的水深が深い領域 A1 から A4 では、堆積土量の時間変化はほぼ同様の傾向を示す一方、漁港や河口を含む比較

## 11.2 積雪寒冷地の河口域海岸の形成機構解明と保全に関する研究

的水深の浅い領域 B1 から B4 では、各領域とも異なる傾向を示す。この結果を踏まえ、本研究では、領域 A1 から A4 を一つにまとめた領域 A と領域 B1 から B4 の合計 5 領域に対して CPCA を行うこととした。なお、本稿では比較的寄与率が高いモード、つまり統計的に有意なモードについて議論する。

図-4(a)は領域 A に対して CPCA を行い、モード 1 (寄与率 53.4%) の再合成地形から求めた堆積土量の時間変化 (黒線) と類似沖 (水深 31m 地点) の波浪データから求めた各測量期間の波エネルギー (赤線) を示している。また、図-4(b)には、このモードの局所寄与率 (横木・Larson, 2002)<sup>3)</sup>の空間分布を示している。局所寄与率とは、各地点の水深変化量が各モードによってどの程度良く表されているかを示す指標であり、以下の式で求められる。

$$\mu_n = \frac{\lambda_n |e_n(x)|^2}{\sum_{k=1}^{N_t} \lambda_k |e_k(x)|^2}$$

波エネルギーの増減に伴い、堆積土量も同様に变化する傾向が確認できる。また、局所寄与率の空間分布はほぼ全域で高い値を示すことから、この海域では比較的水深の深い領域においても波浪の影響が地形変化に大きく寄与していると考えられる。

図-5(a)、図-5(b)は領域 B1 における図-4 と同様にして求められたモード 1 (寄与率 81.4%) の堆積土量の変化と局所寄与率の空間分布を示している。このモードの堆積土量は 1994 年以降、減少している様子が確認できる。局所寄与率の空間分布を見ると特に岸側でその傾向が顕著であることがわかる。領域 B1 の東側では 1994 年までに護岸が建設され、その結果、護岸からの回折波によってこの領域の岸側が侵食したことが堆積土量減少の原因の一つとして考えられる。

図-6(a)、図-6(b)は領域 B2 において図-5 と同様にして求めたモード 1 (寄与率 76.8%) の堆積土量の変化と局所寄与率の空間分布を示している。領域 B2 のモード 1 では、2000 年の漁港の拡幅工事で行った浚渫の影響によって堆積土量が減少した様子が確認できる。また、2002 年以降、堆積土量は徐々に増加しているが、この理由として南防波堤の延伸と防砂堤の建設に伴い、漁港沖側に土砂が堆積しやすくなったことが考えられる。

図-7(a)は領域 B3 におけるモード 1 (寄与率 42.0%)、赤線) とモード 2 (寄与率 19.5%) の堆積土量の時間変化を示している。また、図-7(b)、図-7(c)は各モードの局所寄与率の空間分布を示している。領域 B3 では、2006 年の高波浪来襲時に沖合約 600m 地点で大量の土砂

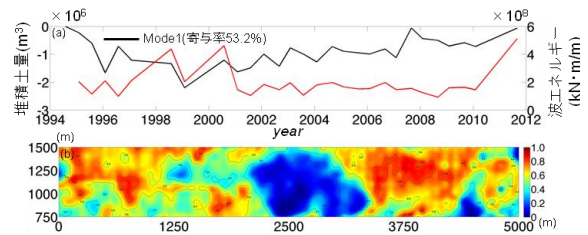


図-4 (a) 領域 A の CPCA モード 1 再合成地形から求めた堆積土量の時間変化 (1994 年 8 月基準、黒線、縦軸：左) と各測量期間の波エネルギー (赤線、縦軸：右) との関係、(b) モード 1 の局所寄与率の空間分布

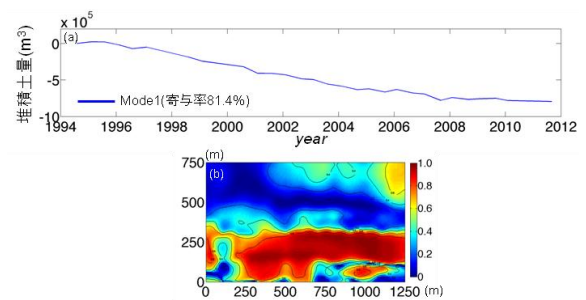


図-5 (a) 領域 B1 の CPCA モード 1 再合成地形から求めた堆積土量の時間変化 (1994 年 8 月基準) と (b) モード 1 の局所寄与率の空間分布

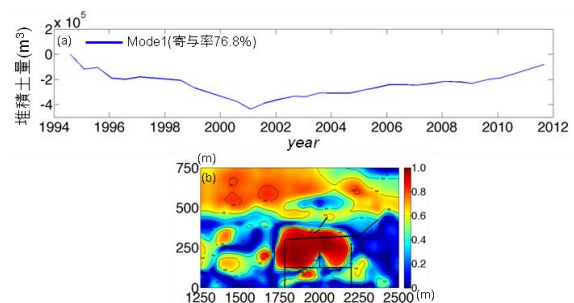


図-6 (a) 領域 B2 の CPCA モード 1 再合成地形から求めた堆積土量の時間変化 (1994 年 8 月基準) と (b) モード 1 の局所寄与率の空間分布

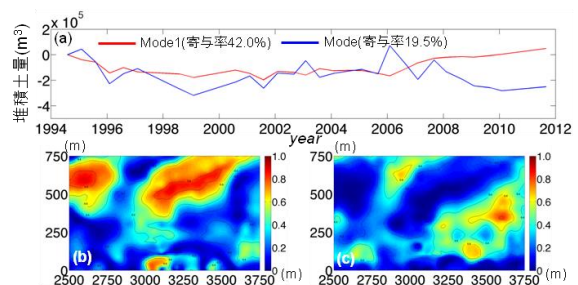


図-7 (a) 領域 B3 の CPCA モード 1 (赤線) とモード 2 (青線) の再合成地形から求めた堆積土量の時間変化 (1994 年 8 月基準) と (b) (c) モード 1、モード 2 の局所寄与率の空間分布

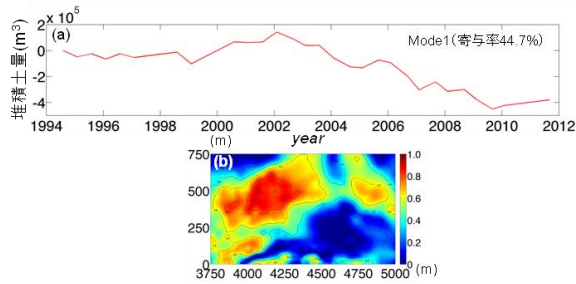


図-8 (a) 領域 B4 の CPCA モード 1 再合成地形から求めた堆積土量の時間変化 (1994 年 8 月基準) と (b) モード 1 の局所寄与率の空間分布

が堆積しており (図-2(b)参照)、この影響がモード 1 に現れたと考えられる。モード 2 では養浜を開始した 2000 年以降、堆積土量が増加する様子が確認できる。また、このモードの局所寄与率は河口側で比較的高い値を示していることから、養浜土砂は西向き的大海流によって河口方向に輸送されていると推察される。

図-8(a)、図-8(b)は領域 B4 におけるモード 1 (寄与率 44.7%) の堆積土量の変化と局所寄与率の空間分布を示している。領域 B4 では、モード 1 の堆積土量が 2002 年以降に減少している様子が確認できる。河口地形に影響を与える波浪や河川の流出特性がこの時期から急に変化した様子は確認されていない。一方、2002 年以降、鵠川漁港では沿岸漂砂を遮る形で南防波堤と防砂堤が建設されたことから、モード 1 ではこの影響が強く現れていると考えられる。河口部を含む領域 B4 では、河川からの出水の影響や養浜の影響がモード 1 もしくはモード 2 に現れると予想されたが、今回の CPCA の解析結果からはそれらの影響は確認できなかった。その原因として、河川出水や養浜に伴う地形変化量は比較的小さいため、CPCA ではこの変化を捉えきれなかった可能性がある。したがって、河口地形と河川出水、養浜の関係については次章において、CPCA の再合成地形ではなく、もとの深浅データから得られた堆積土量の時間変化を用いて議論する。

#### 4. 河口地形と河川出水、養浜との関係

図-9 は領域 B4 の堆積土量の時間変化と各測量期間の河川最大流量および養浜履歴を示している。領域 B4 では、2000 年の大規模な養浜と 2001 年、2003 年の高出水の影響により堆積土量は大きく増加した。融雪期と台風時の出水に伴い春から夏に比較的多くの土砂がこの領域に供給されているが養浜量の減少と南防波堤・防砂堤の建設の影響により、2004 年以降では堆積土量の減少が続いている。

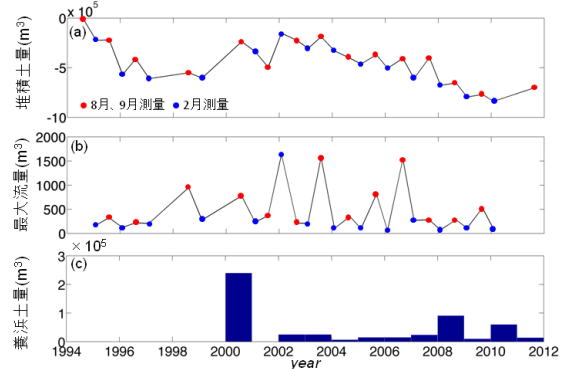


図-9 (a) 領域 B4 の堆積土量の時間変化 (1994 年 8 月基準)、(b) 各測量期間の河川最大流量および (c) 養浜履歴

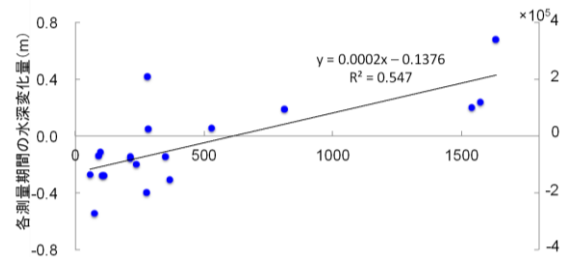


図-10 養浜実施後の領域 B4 における各測量期間の水深変化量と最大流量との関係

図-10 は養浜実施後における各測量期間の水深変化量と最大流量との関係を示している。養浜開始となる 2000 年以降で評価した場合、この領域では約  $700\text{m}^3/\text{s}$  以上の出水によって堆積傾向となることがわかる。鵠川の場合、 $700\text{m}^3/\text{s}$  以上の出水が生じることは比較的少ないため、河口地形の回復には現状よりも多くの土砂を継続的に供給する対策が必要といえる。

#### 5. まとめ

本年度は鵠川沿岸域の深浅データに対して CPCA を行い、この海域では波浪や河川出水のみならず、漁港建設や養浜事業が地形変化に影響を与えていることを明らかにした。現在、河川から海域への土砂流出特性を詳細に把握するため、河口付近の高頻度深浅測量を進めている。次年度はこの結果について報告する予定である。

#### 参考文献

- 1) 内山雄介・栗山善昭：仙台湾蒲生干潟前面海浜の中期地形変動に関する複素主成分分析，土木学会論文集，No. 747，ni-65，pp.135-153，2002.
- 2) 加藤一正・吉松晃：三次元の経験的固有関数による深浅図解析法，港湾技術研究所報告，Vol.23，No.2，pp.27-47，1984.
- 3) 横木裕宗・Magnus Larson：複素主成分分析を用いた Sylt 島海岸における地形変化特性の解析，海岸工学論文集，第 49 巻，pp.601-605，2002.

## A STUDY OF COASTAL AND ESTUARINE PROCESSES FOR COLD REGIONS

**Budget** : Grants for operating expenses

General account

**Research Period** : FY2011-2015

**Research Team** : Port and Coast research team

**Author** : YAMAMOTO Yasuji

OTSUKA Junichi

SEKIGUCHI Koji

**Abstract** : Complex principal component analysis was applied to examine geomorphological behavior of a sandy beach along Mukawa coast in Hokkaido prefecture, using a 17-year series of bathymetry survey data. Wave action, sand supply from the Mu River, construction of sand grin and beach nourishment influence on the morphological changes along the coastal area. While continuous beach nourishment work carried out since 2000 is effective way of preventing beach erosion around the river mouth, much sand should be supplied to recover the estuarine environment.

**Key words** : Beach erosion, Rive mouth, Complex principal component analysis (CPCA)