

# 大潟海岸における海岸変形の特徴について(3)

——カスプと底質の特性——

白井 亨・土屋 義人・芝野 照夫

## ON THE BEACH PROCESSES AT OGATA COAST (3)

——Characteristics of Cusps and Sediments——

By *Toru SHIRAI, Yoshito TSUCHIYA and Teruo SHIBANO*

### Abstract

During the past few years a series of investigations has been conducted to find geomorphologic and sedimentological characteristics of Ogata coast facing Japan Sea. The beach configuration along the coast from Naoetsu to Kashiwazaki, with special reference to rhythmic shoreline, and the textural study of related beach sediments are discussed in this paper.

Shoreline landform characterized by rhythmic shoreline reflects rhythmic configuration of surf zone bed. The detailed study concerning the cusps indicates that cusps vary in mean wave length from 100 m-300 m in the western part to 300 m-500 m in the eastern part of the coast. Spectral analysis of shoreline configuration shows same tendency.

Textural parameters of beach samples reveal that a larger part of the area is floored by well-sorted, coarse materials ranging from gravels to sands in size. Coarse gravel sediments are confined to the central part with few exceptions in the western part of the beach. Fine materials occur on the eastern and western side of the beach. Beach sediments change gradually in size composition in the longshore direction. There appears to be a general inter-relationships between the longshore variation of beach configuration and the textural parameters of the sediments.

### 1. 緒 言

弧状の砂州とか波状の汀線の特徴とする周期的な沿岸起伏の発達する海岸については、従来から研究がなされてきたが、近年これに対する関心が高まってきた。このような地形は汀線の両側にわたるものであり、したがってその両側の地形の構造は相関連するものであるが、このようなリズムカルな海岸は波状海岸 (undulation), shoreline rhythms, sand waves, giant cusps などといわれ通常の beach cusps とは区別される。すなわち、波状海岸においては、波長が 100 m のオーダーから数 1000 m まであり、beach cusps のそれよりは明らかに大きい。また、後者は本質的に subaerial な点で前者と区別される。ただこのような地形に対して large cusp とか単に cusp と称されることもあり、ここでは便宜上 large cusp あるいは単に cusp などと称し beach cusp に対してはそのように記して区別することにする。

さて、このようなリズムカルな波状海岸は長く、真直ぐな海岸あるいは湾曲した海岸のいずれにも存在するが、その分布特性については多くの研究がある。たとえば、Dolan<sup>1)</sup> は Cape Hatteras 付近の海岸について、波状海岸の湾入部の沖側に deep-water channel がみられることを指摘し、かような地形は surf zone の “bar-trough system” を反映していると述べている。Sonu<sup>2)</sup> は弧状砂州の存在する波状海岸において、外側の砂州とリズムカルな汀線の地形における “horn” が対をなしている場合が普通であるといっている。一方、海岸の水理現象との関連については、Komar<sup>3)</sup> は cusp の間隔が rip current のそれに対応する例や rip current の

“lee” に cusp が存在する例を指摘し, Shepard<sup>4)</sup> は I.a Jolla の海岸調査の結果から cusp は rip current の “lee” における堆積によってつくられるとしている。Cusp に関する水理実験も行なわれているが, Komar<sup>3)</sup> は cusp と rip current の関係として理論的には cusp は rip current の中間の cell center に発達することが予想されたが, 実験の結果ではそのような cusp は大きく生長することではなく, 数分の間に全く消えてなくなり, 安定な cusp は rip current の “lee” に発展し, しかも大きな cusp は強い rip current の “lee” に形成されたと述べている。彼は実際の海岸では, この両方の cusp-rip current の関係が起こりうると述べている。波状海岸地形発生条件として, Sonu<sup>2)</sup> はゆるやかな海底勾配, 豊富な beach sediment, 斜から入射する波の卓越をあげている。その発生機構としては longshore current による surf zone bed の不安定性とか<sup>3)</sup>, 斜から入射する波と岬間の seich あるいは standing edge wave の相互作用<sup>2)</sup> とか rip current の “lee” における堆積<sup>4)</sup> などがあげられ, 前述した Komar<sup>3)</sup> は実験結果と観測資料から rip current と関連した longshore current が cusp をつくるとしている。そのほか河川の meander の発展などに類似性を求める考え方<sup>1)</sup> などもあるようである。いずれにしても, いろいろな調査資料から波状海岸においてリズムカルな汀線の地形と surf zone の地形構造, さらにその水理現象の間には相関連した関係があることは明かである。

さて, 海岸侵食など長期的な海浜変形を支配するものは沿岸方向の漂砂現象とされているが, 前述のような波状海岸においてみられる beach~surf zone の地形構造やその変化も海岸の変形過程に重要な役割を果たしているものと思われる。大潟海岸には京都大学防災研究所附属大潟波浪観測所があり, 著者らはすでに過去5年にわたり来襲波浪の特性との関連において海岸変形について調査研究を行ってきたが, 前述したように重要な問題を含む海岸の地形特性についても研究を進め, その一部の成果については第2報<sup>5)</sup> に報告した。今回はその続報として, 主として航空写真による波状海岸地形の解析結果と汀線砂れきの分布特性などについて考察するものである。

## 2. 大潟海岸の地形特性

大潟海岸の海浜地形についてこれまでに行った調査資料から海岸地形を検討すると, 次のようである。

(1) 汀線から 500 m~600 m, 水深 10 m 以深の領域では, その平均の勾配はゆるく等深線も海岸線にはほぼ平行である。この海岸沖の海底の平均の勾配は全体として東から西へ漸減する傾向がみられる。一方, 汀線から水深 10 m の地点までの平均の勾配は郷津から 15 km 付近の帝国石油株式会社棧橋付近で大きくなっている。この傾向は, さらに沖側の領域にもみられるが, 沖へいくほど明確ではない。水深 10 m より沖側と陸側でははっきりした勾配の変化がみられ, ここから岸へ向って勾配は急増し, 汀線から数 100 m 沖に分布する砂州頂部あるいは step 縁辺におよぶが, その水深は 5 m~7 m である。このように, 汀線とそこから 500 m~600 m 沖の地点の間のテラス状の領域にリズムカルな地形構造が存在する。

(2) この海岸全域にわたる詳細な測量はいまだ行われていないが, 郷津から約 15 km の帝国石油棧橋付近では水深 10 m 以浅の領域にみられる特徴として, 長さほぼ 200 m, 最大ほぼ 500 m の弧状の沿岸砂州の存在と海底縦断面形として, step 型のいわゆる正常海浜と bar 型のいわゆる暴風海浜の混在がみられる。この両断面形を示す領域が 500 m~1000 m 間隔に沿岸方向に交互して連なり, リズムカルな地形構造を示している。一方, この海岸の約 100 m 沖の沿岸方向の海底横断面は峰と谷が交互する波状の断面を示し<sup>5)</sup>, 棧橋付近の資料から推定すると, 横断面における峰部は縦断面における step 型断面を示す部分にあたり, 前者のそれぞれの峰間の部分は後者における bar 型断面を示す領域の trough 部分にあたることが考えられる。

(3) Large cusp の配列と海底横断面から推定される surf zone の地形構造は割合によく対応しているようにみえる<sup>5)</sup>。すなわち, 波状海岸における海側への突出部先端および岸側への湾入最奥部の位置と海底横断面における海底の起伏の峰頂部および谷底部の位置がそれぞれ割合によく対応していることがわかっている。いかにいへば, この海岸の基本的な地形構造として, 波状汀線の突出部がその沖側の step に連なり, 湾入部がその沖側の trough をへだてて bar と相対していることがわかる。このようなリズムカルな汀線付近の地形

とその沖側の地形との対応は、前述のように Dolan<sup>1)</sup> または Sonu<sup>2)</sup> らによって指摘されている。一方、Sonu<sup>2)</sup> は対応のみられる場合が普通であるとしているが、対応のみられる海岸のすぐ近傍で対応がずれている例を示し、cusp は短命で“bar-system”とは独立しているとしている。しかし、大潟海岸のように large cusp の大きな移動のみられないような海岸では<sup>3)</sup>、安定した両者の関係があるものと想像される。

Large cusp の波長は直江津港近くの地点を除くと東から西へ漸減する傾向があり、これは波状の起伏を示す海底横断面についても同様である<sup>3)</sup>。この傾向は、東から西へ漸減する海底勾配の傾向と関連するものかもしれない。

(4) Large cusp の移動や変形については、大潟海岸では1972年1月と10月～11月に行った調査では、両者の間に大きな差はないようであり<sup>3)</sup>、このことからこの海岸では少なくとも通常の海象のもとでは大きく移動することなく比較的安定しているものと思われる。Large cusp の振幅については、冬期の 20 m 前後から秋期の 10 m 前後と差がみられ、前者に large cusp が発達することを示しているが、とくに棧橋付近から東へ振幅が減少している傾向がみられる。

(5) 海浜の幅および勾配については、つぎのように考えられる。波状海岸においては、海浜の幅は large cusp の配列による増減とさらに大きな波長の増減からなるものと思われる。大潟海岸において、後者の場合についてみると、郷津付近と柿崎の黒川東側を除くと、郷津から 15 km 付近に明らかな極大がみられる。柿崎の黒川東の極大は黒川による堆積のためと思われる。この傾向は前述の海底勾配が郷津から 15 km 東付近で極大値を示す傾向と一致するものである。1972年1月中旬～下旬における一連の季節風の前後の同一地点における海浜の幅を示したのが Fig. 1 である。これらは後述の汀線堆積物を採取したときに測定したものである。この図から、西端で汀線が後退し西端を除く 8 km 以西で前進し、また 9 km～11 km で後退し、11 km～15 km で前進し、さらに 15 km～25 km 付近で後退し、25 km 以東で前進しているというように、ある区間ごとに前進後退をくりかえしていることがわかる。海浜勾配についても、一般に large cusp の配列による勾配の周期的な変化がみられると思われるが、大潟海岸ではこの他に 3 km～4 km の間隔で周期的に変化しているようである。

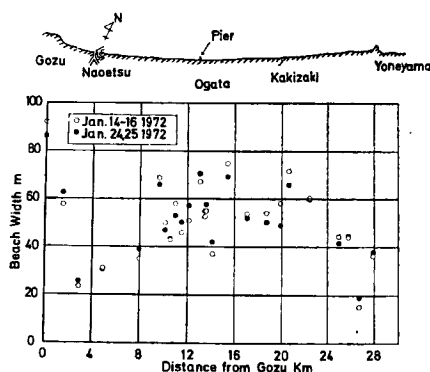


Fig. 1 Longshore distribution of beach width

### 3. 大潟海岸の cusp の特性

前述したように、砂浜海岸においては、来襲波浪やそれによる沿岸流など種々の要因によって、特徴的な海浜地形を形づくる。大潟海岸においても波状海岸地形がよく発達しているが、そのうち large cusp と beach cusp の沿岸方向分布の特性をスペクトル解析や平均波法的な処理によって解析し考察することにする。このために、大潟海岸を含む直江津から柿崎に至る約 13 km の範囲の空中写真を用い、これらの cusp の沿岸方向の変動を読みとって解析することにした。

Fig. 2 は大潟海岸にある 帝国石油株式会社の第 1 人工島棧橋を中心とする large cusp の規模、とくに波長(間隔)の沿岸方向分布であって、5 波長を平均して表わしている。また、図中には、第 2 報において詳述した海底勾配の沿岸方向分布も示してある。これから、大潟海岸では、第 1 人工島棧橋より西側で、large cusp の平均波長が約 100 m～300 m となり、これに対してその東側では 300 m～500 m 程度と非常に大きくなっていることがわかる。さらに、海底勾配の沿岸方向分布と large cusp の波長との間には密接な関係が見うけられるようであって、前述した地形特性の考察と対応する。一方、このような波状海岸地形を河川の砂れんと

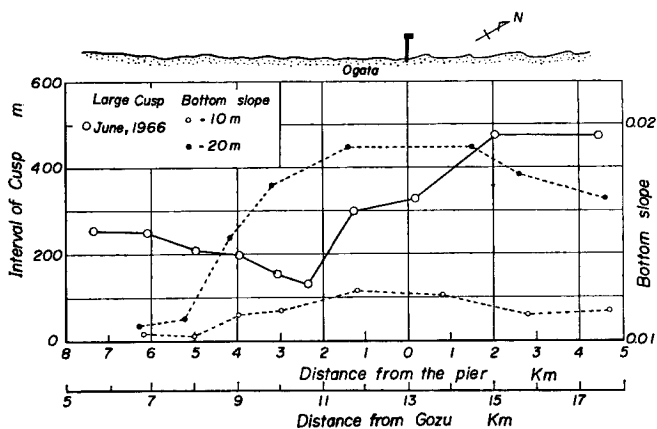


Fig. 2 Longshore distributions of interval of cusp

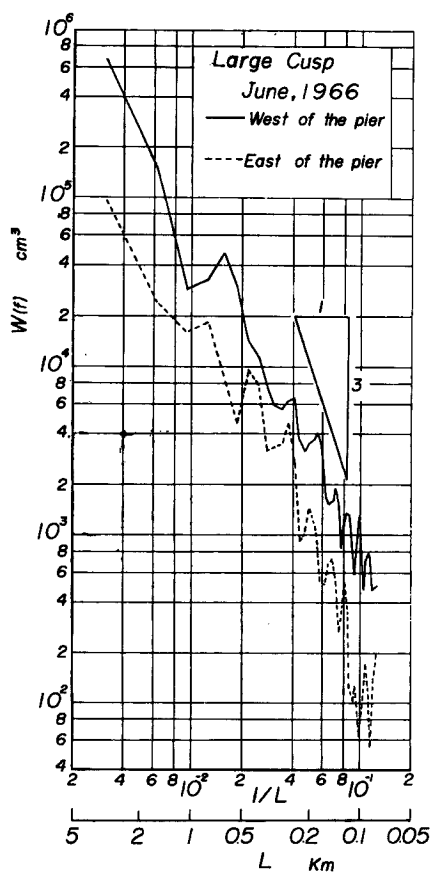


Fig. 3 Power spectra of large cusp

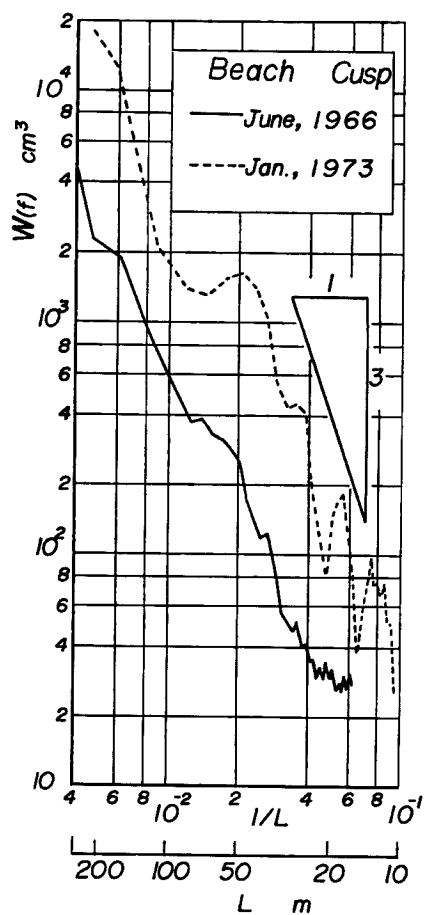


Fig. 4 Power spectra of beach cusp

同様に考えてそのスペクトル解析を行ったものが、**Figs. 3** および **4** である。**Fig. 3** は前出の **Fig. 2** と同じく、1966年6月撮影の空中写真のものであるが、第1人工島棧橋の東・西両側では、large cusp の卓越波長にかなりの相違がみられ、前者では約 700 m, 250 m および 170 m 程度の波長にピークが存在する。しかし、後者では、約 800 m, 500 m, 250 m および 200 m 程度のところにピークがあり、第1人工島棧橋の西側では東側に比べて cusp の波長が小さいことがわかる。また、後浜においても規模は小さいが、いわゆる beach cusp が発達するが、それは高波浪時における大きい遡上波によって形成されるものと考えられる。図に示すものは、1966年6月撮影の空中写真と1973年1月に防災研究所によってヘリコプターで撮影した写真から cusp のスペクトル解析を行なったものである。ただし、両者の写真は縮尺が異なるために、直接両者を比較するためには精度の点で若干問題があるが、その卓越波長は約 50 m 程度であって、前述した cusp に比べるとかなり小さいことがわかる。これら **Figs. 3** および **4** ともに高波数側におけるスペクトルの通減特性は、砂れんなどの場合と同様にほぼ  $-1/3$  乗に近いことがわかる。

#### 4. 大潟海岸の浜砂れきの特性

海浜の地形構造に関連して海浜堆積物を論ずるのが本報の一つの目的であるが、各 cusp と対応した堆積物の特性の分布は続報にゆずることとして、ここではこの海岸の全般的な沿岸方向特性について検討することとする。海浜砂れきは、この海岸に来襲した一連の季節風をはきんで1972年1月中旬～下旬に同じ地点で2回採取した。採取地点の間隔は 500 m～1 km であるが、場所によっては数 km 間隔の場合もある。東端の一地点は岩石の岬をへだててこの一連の海岸の東隣りにある小海浜にある。各地点において汀線から陸側へ 5 m 間隔に試料を採取したが、ここでは主として汀線の砂れきについて考察する。試料はふるい分け分析を行って得られた結果を Inman<sup>6)</sup> に従って整理し、底質特性の諸数値を求めた。

##### 4.1 Phi median diameter ( $Md\phi$ ) および Phi mean diameter ( $M\phi$ ) の沿岸方向分布

**Figs. 5** および **6** はそれぞれ汀線砂れきの  $Md\phi$  値と  $M\phi$  値が沿岸方向にどのように分布しているかを示すものであるが、両者は同じような傾向を示すので、ここでは主として前者について述べる。いくつかの特徴がみられるが、列挙すると次のようになる。

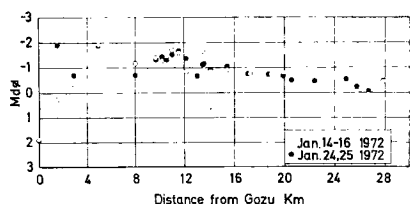


Fig. 5 Longshore distribution of phi median diameter of beach sediment

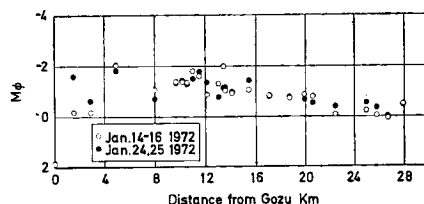


Fig. 6 Longshore distribution of phi mean diameter of beach sediment

1) この海岸の両端付近を除いて、 $Md\phi$  は  $0 \sim -2\phi$  である。郷津から 11 km 付近で  $-1.5\phi$  前後の極大値を示し、ここから東あるいは西側へ値は漸増する。ただ、西側については、測点の数が少ないのではっきりしたことはいえない。おそらく直江津港の存在などから、いさし複雑であることが予想される。一方、東・西両端ではその値は大きく、西端で  $2\phi$  程度となり、また東端では  $0\phi$  前後となる。

2) 一連の季節風の前後ではこの値には大きな差はみられず、またはっきりした変化の傾向もみられない。ただ、郷津から 5 km 以西と 22 km 以東で一連の季節風後にその値が小さくなっている傾向が見出される。

##### 4.2 Phi deviation measure ( $\sigma\phi$ ) および Trask sorting coefficient ( $S_0$ ) の沿岸方向分布

**Figs. 7** および **8** はそれぞれ汀線砂れきの  $\sigma\phi$  値と  $S_0$  値の沿岸方向の分布を示したものである。郷津から

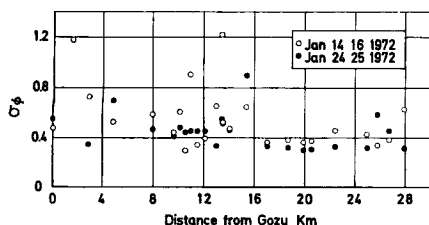


Fig. 7 Longshore distribution of phi deviation measure of beach sediment

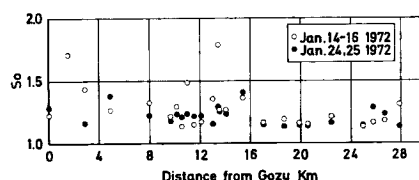


Fig. 8 Longshore distribution of Trask sorting coefficient of beach sediment

1.8 km 地点の一連の季節風後の  $\sigma\phi$  値および  $S_0$  値については、この図の外に出てしまうので示していないが例外的に大きくそれぞれ2.50および3.36である。淘汰度の沿岸方向分布については次のような特徴がみられる。

1)  $\sigma\phi$  の値は大体0.3~0.7の間にあるが、とくに一連の季節風後のものについては、ほとんどが0.3~0.6の値を示す。これらの値は、いろいろな分類によっても非常に淘汰がよいかあるいは淘汰のよい部類に入るものである<sup>8)</sup>。

2) 全体としてこれらの値は、東から西へ減ずる傾向がみられるが、この海岸の両端および中央部分付近でその値が大きくなるようである。

3) 一連の季節風の後では、8 km~16 km の中央部で淘汰度のばらつきが少なくなり、かつ 16 km 以東の多くの地点で東端付近を除いて淘汰がよくなる。

#### 4.3 Phi skewness measure ( $\alpha\phi$ ) および 2nd phi skewness measure ( $\alpha_2\phi$ ) の沿岸方向分布

Figs. 9 および 10 はそれぞれ  $\alpha\phi$  および  $\alpha_2\phi$  の沿岸方向分布を示したものであるが、この特徴として次の点があげられる。

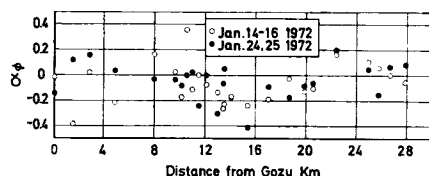


Fig. 9 Longshore distribution of phi skewness measure of beach sediment

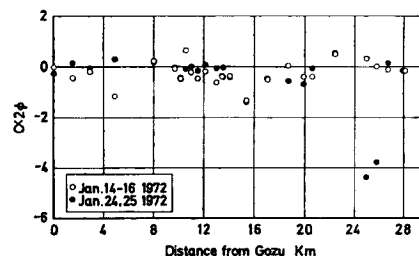


Fig. 10 Longshore distribution of 2nd phi skewness measure of beach sediment

1)  $\alpha\phi$  の値は -0.4~0.4 の間で全体的に負の値を示す場合が多いが、とくに海岸中央部でこの傾向が明確である。

2) これらの値のばらつきは大きい、傾向はある程度明らかである。すなわち一連の季節風後では、この海岸の東西両端および中間の 10 km~20 km あたりで 0 に近い値を示し、これらの地点の中間で西から正、負、正の分布を示している。この傾向は、一連の季節風前でも直江津港より東側では認められるようである。負の  $\alpha\phi$  値は高いエネルギー状態を示すものともされるが、一方この場合のようにその絶対値の小なるものについては、解析の限界外にあるともいわれているようである。

#### 4.4 Phi kurtosis measure ( $\beta\phi$ ) の沿岸方向分布

Fig. 11 は  $\beta\phi$  の沿岸方向分布を示すが、あまりはっきりとした傾向はみられない。

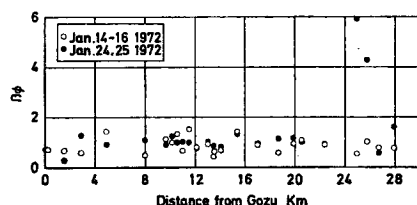


Fig. 11 Longshore distribution of phi kurtosis measure of beach sediment

#### 4.5 各数値間の関係

1)  $Md\phi \sim \sigma\phi$  および  $M\phi \sim \sigma\phi$  の関係：採取された全試料について、これらの関係を示したものが **Figs. 12** および **13** である。これらの砂れきの  $Md\phi$  は  $0\phi$  より小さいものがほとんどであり、またばらつきが大きいために、Sonu<sup>7)</sup> および Jones<sup>8)</sup> らのこのような関係は明らかでないが、一応粒径の増加とともに淘汰が悪くなる傾向がみられる。

2)  $Md\phi \sim \alpha\phi$  および  $M\phi \sim \alpha\phi$  の関係：前項と同じように、粒径の占める範囲が小さいことと、ばらつきのためにはっきりした傾向はみられない (**Figs. 14**, および **15**)。

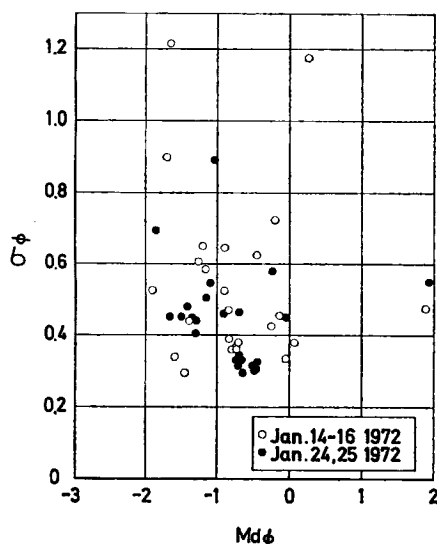


Fig. 12 Relationship between phi median diameter and phi deviation measure of beach sediment

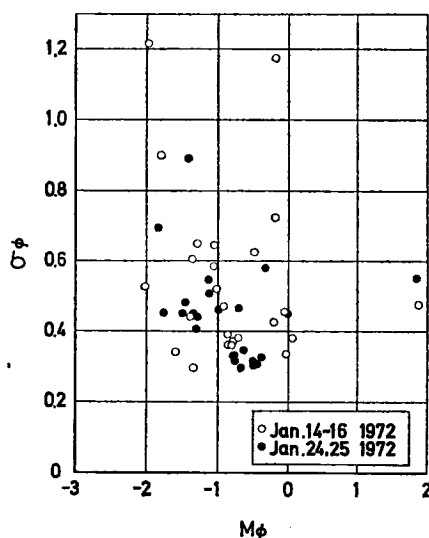


Fig. 13 Relationship between phi mean diameter and phi deviation measure of beach sediment

#### 4.6 粒度組成の特性

各砂れきの試料を組成する成分粒子の百分比の沿岸方向変化を示したのが **Figs. 16** および **17** である。粒径は UWK grade scale で示してある。これによれば、この海浜の砂れきの組成は多くの場合に 2 主要成分からなることがわかる。この組み合わせは、西から東へ fine sand と medium sand, coarse sand と very coarse sand, very coarse sand と very fine gravel, coarse sand と very coarse sand と次第に変化し、その量比は漸移

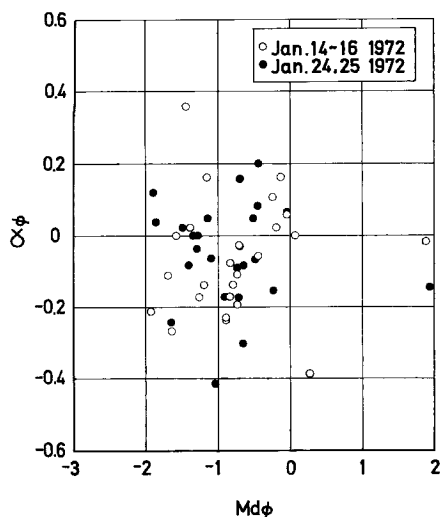


Fig. 14 Relationship between phi median diameter and phi skewness measure of beach sediment

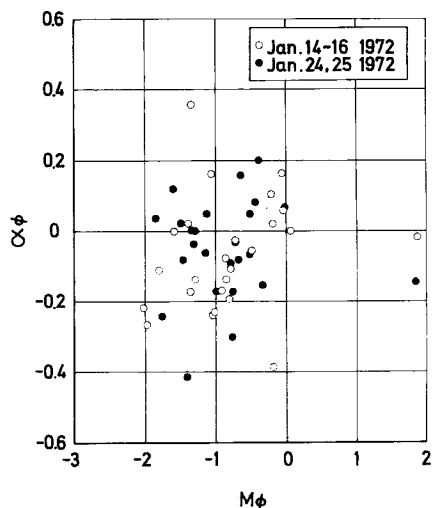


Fig. 15 Relationship between phi mean diameter and phi skewness measure of beach sediment

する。medium sand より粒径の小さいものはこの海岸の西端付近にのみ存在し、coarse sand は同じく 10 km 以西および 20 km 以東にのみ存在する。これに対して fine gravel より大なるものは郷津から 11 km 地点を中心とした中央部と 5 km 以西にのみ存在する。11 km 地点を中心とした中央部には、この海岸ではもっとも粗粒の成分である coarse gravel から very fine gravel にいたるれきが分布するが、これらの量は 11 km 地点の両側へ漸減する。また、西端の郷津を除いて直江津港西部では多成分からなることがわかる。

なお Fig. 18 は同様に汀線から 5 m 陸側の成分組成を示したものである。

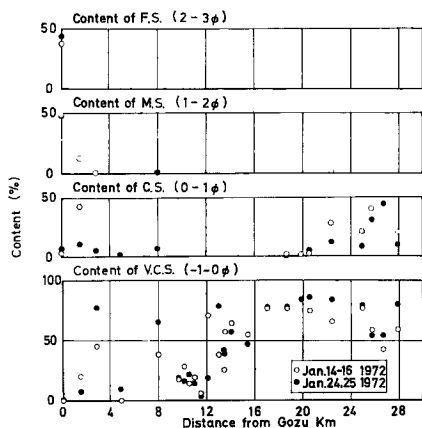


Fig. 16 Longshore distribution of content of sand grains  
V.C.S.=very coarse sand;  
C.S.=coarse sand;  
M.S.=medium sand;  
F.S.=fine sand.

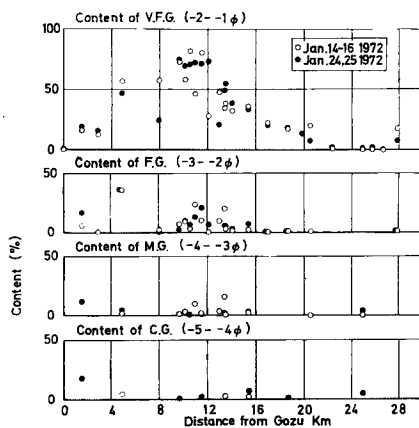


Fig. 17 Longshore distribution of content of gravel grains  
C.G.=coarse gravel;  
M.G.=medium gravel;  
F.G.=fine gravel;  
V.F.G.=very fine gravel.

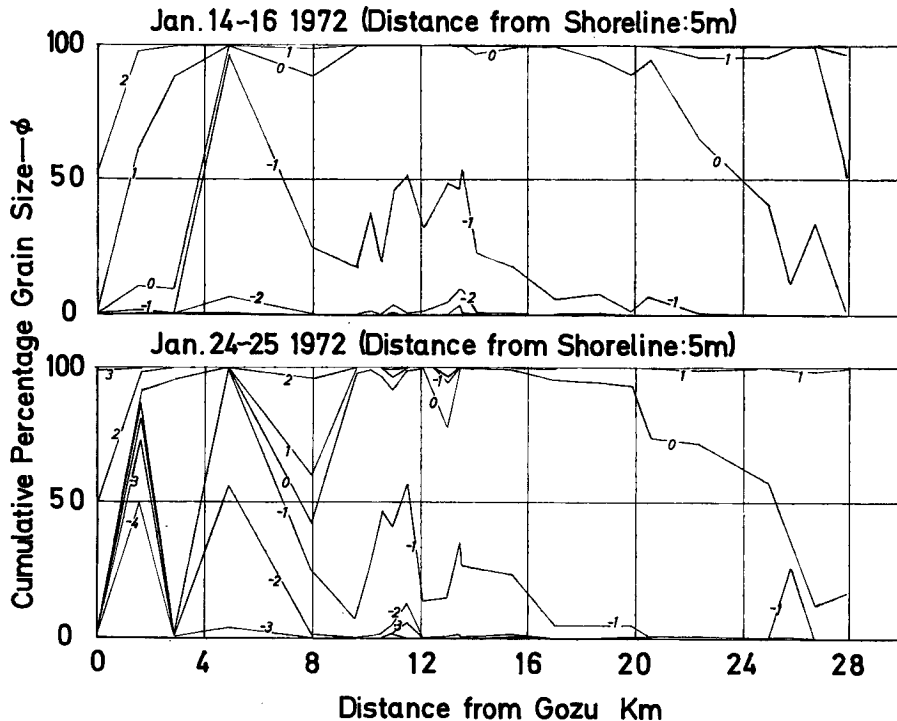


Fig. 18 Frequency diagrams of constituent grains

## 5. 結 語

以上、大潟海岸の地形特性および汀線における堆積物の特性について述べたが、次のような点がその特徴として考えられる。

- 1) 大潟海岸において、汀線の cusp 地形と surf zone の地形構造はたがいに対応して地形の単位をなし、このような地形の単位がリズムカルに沿岸方向に配列しているものと思われる。
- 2) surf zone の地形を反映する large cusp の分布にはいくつかの特徴がみられる。すなわち、large cusp の場所的分布をみると、郷津から 11 km 地点に波長の極小値がありその東側では波長は特に大きくなっている。このような傾向はスペクトル解析の結果からも明らかである。このような large cusp の規模と海底勾配の間には密接な関係があるように思われる。
- 3) 汀線における浜砂き特性に関する諸数値はこの海岸の郷津東方 11 km 付近に特徴的な分布を示す。すなわち、大きな中央粒径、この海岸としては最もよくない淘汰度、0～負の歪度、粗粒成分の分布などである。この海岸の堆積物成分の組成は郷津東方 11 km を中心に粗粒のものが分布し、東西両端付近へむかって細粒となり、とくに西端ではもっとも細粒であり、そしてそれら各成分比は漸移的に変化する。

最後に、この研究を行なうにあたって、cusp のスペクトル解析にご協力いただいた 山口正隆助教授ならびに試料処理などにご協力いただいた内山清枝官に感謝の意を表明する。

## 参 考 文 献

- 1) Dolan, R.: Coastal landforms; Crescentic and Rhythmic, Geol. Soc. America Bull., Vol. 82, 1971, pp. 177-185.

- 2) Sonu, C. J.: Three-Dimensional Beach Changes, *Jour. Geology*, Vol. 81, No. 1, 1973, pp. 42-64.
- 3) Komar, P. D.: Nearshore Cell Circulation and the Formation of Giant Cusps, *Geol. Soc. America Bull.*, Vol. 82, 1971, pp. 2643-2650.
- 4) Shepard, F. P.: *Submarine Geology*, 2nd ed.: New York, Harper and Row, p. 557.
- 5) 白井 亨・土屋義人: 大潟海岸における海岸変形の特性について(2), 京大防災研年報, 第16号B, 1973, pp. 543-553.
- 6) Inman, D. L.: Measures for Describing the Size Distribution of Sediments, *Jour. Sed. Petrology*, Vol. 22, 1962, pp. 125-145.
- 7) Sonu, C. J.: Bimodal Composition and Cyclic Characteristics of Beach Sediment in Continuously Changing Profiles, *Jour. Sed. Petrology*, Vol. 42, 1972, pp. 852-857.
- 8) Jones, A. S. G.: A Textural Study of Marine Sediments in a Portion of Cardigan Bay (Wales), *Jour. Sed. Petrology*, Vol. 41, 1971, pp. 505-516.