

## 観測棧橋近傍の海底地形と海底底質の粒度組成 —海底地形の変形と海底底質の粒度組成の岸沖方向変異—

内山 清

### 要 旨

大潟海岸の中央部に位置している京大観測用棧橋の沖側に、弧状沿岸砂州が形成されている。この弧状沿岸砂州の変異を考察するために、深浅測量と海底底質採取を、2005年3月6日と2005年9月28日に行った。深浅測量は、汀線から約200m沖の沿岸方向の1測線と、弧状沿岸砂州中心部と接合部の2測線を通る岸沖方向の測線で行った。また、海底底質採取は水深約1mごとに、深浅測量と同じ岸沖方向の2測線上で行った。なお、弧状沿岸砂州中心部の測線は、棧橋の南西側の縁に合致しているため、棧橋の根元から先端にかけて採取した底質試料を採用した。それは、2005年3月6日と9月28日に一番近い時期である、2005年3月15日と9月16日の底質試料を採用した。海底地形の変形と海底底質の粒度組成の岸沖方向変異の考察から、変則的な動きをしていることがわかった。また、海底底質と海岸砂丘砂との相関関係も示された。

キーワード：弧状沿岸砂州，離岸流，沿岸流，分級作用，移動限界水深

### 1. 緒 言

大潟海岸は、上越市郷津から柏崎市米山に至る全長約27kmのほぼ直線状の砂・礫海岸である。大潟波浪観測所の観測棧橋は、この海岸線のほぼ中央に位置している (Fig.1)。直江津港防波堤の延伸による漂砂系の分断と関川からの土砂の遮断により、直江津港より北東、棧橋付近までは海岸侵食が顕著で、海浜が消滅してしまった。自然の節理に従って、あらゆる要素と緊密に、そして微妙にバランスをとりながら動作する事から鑑み、ミクロからマクロへと考察し、熟考することこそが、新しく、重要な知見を得る方法である。この意味において、今回は、大変困難とされる、冬季の3月で、船による深浅測量を行って得た海底地形と海底底質の粒度組成をしっかりと考察することだ。また、それより、半年後の9月でのそれら、との比較による変異に、多大なる知見が得られるであろう。そのうえ、前回、2004年11月 (内山, 2005) のそれらと比較しながら、しっかりと考察することである。それに加えて、海岸砂丘砂がどのような関与の仕方をするか。上述のことを確実に実行することこそが、海岸侵食の原因解明に資するものとする。

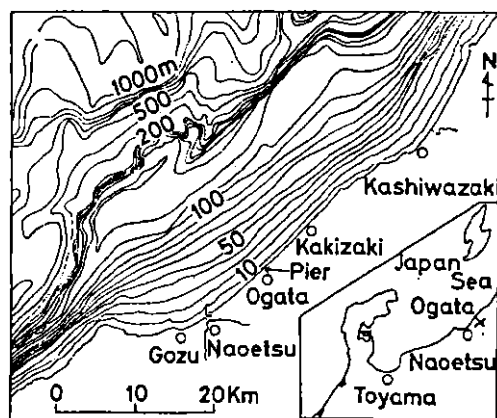


Fig.1 Positional topography of Ogata's coast

### 2. 汀線から沖へ約200mの地点を汀線に沿っての海底地形と岸沖方向の海底地形

#### 2.1 汀線に沿った海底地形

Fig.2の①に示すように、汀線から沖へ約200mの地点、つまり、棧橋先端の抗と棧橋の岸から沖へ4本目の抗の中間点をSWからNEの方向へ、汀線に沿って深浅測量を行った海底地形である。

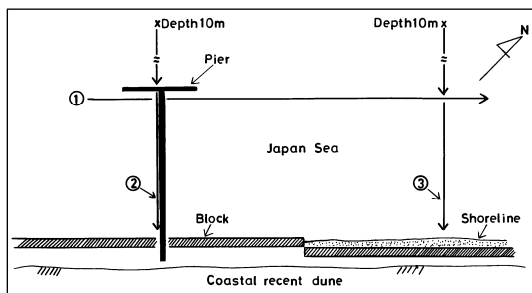


Fig.2 The measuring lines on a coastal sketch-map

今回は、2005年3月6日 (Fig.3) と9月28日 (Fig.4) がその海底地形図である。平年ですと、冬季である3月は、まだ、季節風である北西の風が強く吹いて、波も高い状態が毎日続く。到底、船による深淺測量ができない。それが2005年3月6日には、運よく、深淺測量と海底底質採取もできた。その半年後の9月にも同様な事を行った。これに、ともなって、両者を比較した時の差異とその過程の動作を考察していきたい。それに加えて、前回の2004年11月の海底地形図 (内山, 2005) (Fig.5) と今回の比較での差異と動作についても考察するに、大変興味がある。

### (1) 2005年3月6日の海底地形図

Fig.3をみると、棧橋の中心0から南西へ約100mの地点に谷があり、水深は約7.0mである。この地点を通る岸沖方向での測線が、弧状沿岸砂州の中心部と思われる。0~0から北東へ約100mの地点間に小高い山があつて、何らかの砂の堆積があつたようだ。0から北東へ約300mの地点に、一番高い山があり、弧状沿岸砂州の接合部における極浅部と思われる。この地点の水深は約4.0mで、前述の中心部の谷との比高は約3.0mとなる。

一方、南西側へ目を向けると、0から約350mの地点に二番目に高い山があり、水深が約5.0mで、弧状沿岸砂州接合部の極浅部にあたる。0から南西へ約100mの地点の谷との比高は、約2.0mである。

上述の二つの論点と (Fig.5) の海底地形図より、棧橋の中心から南西側と北東側にある、二つの接合部の間の距離は約650mで、頂点であるBarが、棧橋の先端から沖へ約130mの地点にある。もし、水をなくして、真上から見た時に、沖側が凸の放物線を描くように、きれいな弧状沿岸砂州であることがわかる。

### (2) 2005年9月28日の海底地形図

Fig.4をみると、棧橋の中心0から南西へ約100mの地点に谷があり、水深は約8.0mで、3月6日の海底地形図 (Fig.3) のこの地点より、約1.0m程水深を増した。この地点を通る岸沖方向での測線が、弧状沿岸砂州中心部と思われる。0~0から北東へ約100mの地点間に小高い山があつて、3月6日の海底地形図 (Fig.3) による同地点と比べて水深は微妙に増したことにな

る。0から北東へ約350mの地点に一番高い山があり、弧状沿岸砂州接合部の極浅部と思われる。この地点の水深は約4.5mで、前述の中心部の谷との比高は約3.5mである。

一方、南西側へ目を向けると、0から約250mの地点に二番目に高い山があり、水深が約5.0mで、弧状沿岸砂州接合部の極浅部にあたる。0から南西へ約100mの地点の谷との比高は、約3.0mとなる。

上述の二つの論点と (Fig.7) の海底地形図から、棧橋の中心より南西側と北東側にある、二つの接合部の間の距離は約600mで、頂点のBarが、棧橋の先端から沖へ約150mの地点にある。この様なことから、前述と同様に、きれいな弧状沿岸砂州であることがわかる。

### (3) Fig.3とFig.4の比較

Fig.3とFig.4を比較して、半年間における変異を考察する。まず、前者から後者へ変異するための要因を述べる。ひとつは、北西からの季節風で、波が発達して、どういう経過で岸にやって来るかの問題です。これに付随して、どういう水の流れが発生するか、という事です。ふたつめは、測量時に、直江津港防波堤の延伸がどこまで完成していたか、の問題です。

前者の測量日は、2005年3月6日であつて、それ以後の3月31日までは、冬季であるため、北西からの季節風が吹いて、10~15m/sの風の強さであつた回数は、5回と記録されている。ただし、1回は、2~3日位、その方向と強さが続いたものとする。つぎに、4月1日から9月27日の間においては、一応、夏季と判定する。この期間は、西からの風が8回程吹き、強さが10~15m/sである。この中で2回は、15~20m/sの風の強さを示している。この日、以外の夏季においては、北あるいは北東からの風の頻度が高い。この場合、最大風速は10m/s前後が常道である。

もうひとつの変異のための要因として、直江津港防波堤の延伸について延べる。全長が2.5kmであつて、完成したのが2007年度であつたと聞いている。この事からして、測量日の2005年3月6日には全体の3分の2は完成していたと言える。また、2005年9月28日には全体の4分の3まで完成しつつあつたのではないか。

### (4) 測量日の前者から後者への変異

ここで、測量日の前者から後者への変異について、それぞれの海底地形図 (Fig.3, 4) を精査し、上述の要因等を加味しながら述べる。両者の弧状沿岸砂州接合部において、前者から後者へ、どのように変異したかという。微妙に水深が増したうえ、棧橋より南西側に位置する接合部が約100m程、北東側に位置するそれが約50m程、それぞれ北東側へ動いた。

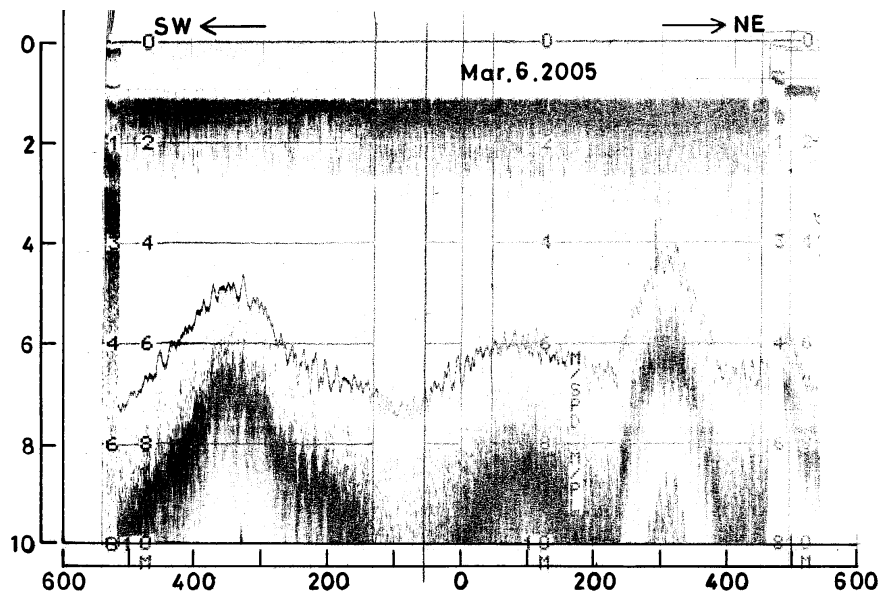


Fig.3 Bottom profile, from south west to north east, 200m offshore along the shoreline, on

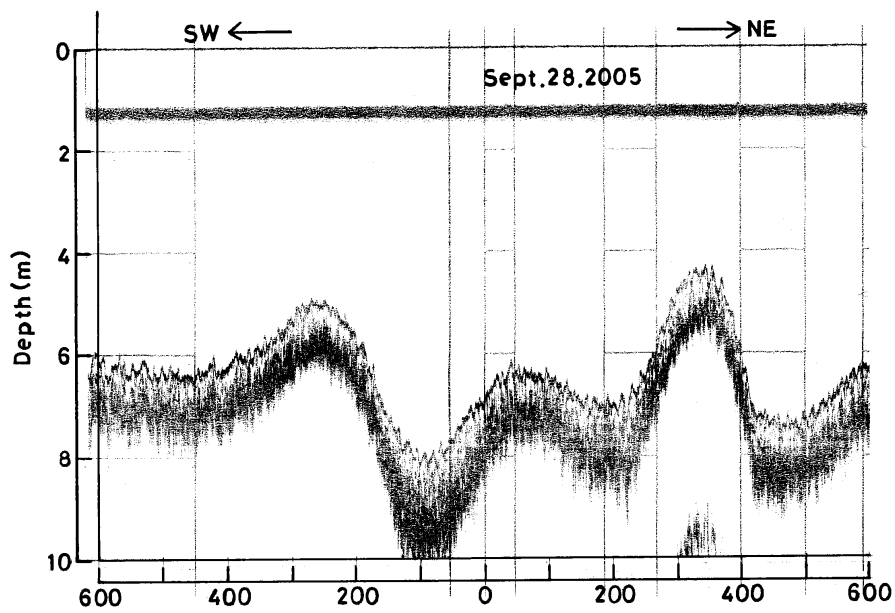


Fig.4 Bottom profile, from south west to north east, 200m offshore along the shoreline, on

接合部と接合部の間にある、ひとつの小高い山とふたつの谷は、約50cm程、それぞれ水深を増している。特に、南西側の谷については約1.0m近く、水深を増した。

### (5) 各海底地形の変異

上の各海底地形の変異の状態からして、下述の事が起った可能性がある。後述の海底底質の粒度組成を加味しながら論ずると、明瞭な水の流れが見えてこようが、ここでは、海底地形の変異のみで考察する。2005年3月6日から31までは、まだ冬季で、北西からの風の頻度が高い事から、風速で10~15m/sだと最大波高で3.0~4.0mとなる。しかも、直江津港防波堤が全体の3分の2位の完成度から、その先端で波が屈折して、ちょうど、土底浜付近に波が集中する。そのうえ、土底浜より南西側に人工リーフの既設で、この上にやって来た波が砕波しないで、急激に発達するのである。波が立ったままの状態、海浜の後浜に形成している、海岸砂丘砂に襲いかかり、侵食して、海に流出する。人工リーフで、隣りとの間の海底がちょうど水路のようになって、大きなベクトルを持った激流が砂を押し出して、そのすぐ沖側に砂州として堆積する。波および、その他いろいろな要因で発生する沿岸流が、それにより、水路のような様相を呈して発達し、南西から北東の方向へ、砂を運ぶ。2005年4月1日から9月27日までは夏季で、北あるいは北東からの風が吹く頻度が高くなり、その他、いろいろな要因で、沿岸流も北東から南西へ向う頻度が増す。その中で、数少ない回数西から吹く風で、このうち、2回も15~20m/sの風が吹いた。これと、その他、いろいろな要因があつて、南西から北東へ向う沿岸流が大きなベクトルを持って、そのうえ、北東から南西へ向う沿岸流よりも優勢に作用する。この事から、栈橋より南西側に位置する、弧状沿岸砂州接合部の極浅部を約100mも北東側へ動かし、また、運んで来た砂を堆積したのだろう。栈橋の中心より南西側へ約100mの地点の谷が、岸沖方向でいうと、弧状沿岸砂州中心部にあたるため、大きなベクトルを持った離岸流が発生する。特に、沖から集中して、発達した波が波消しブロックにあたって反射し、もどり水として、離岸流になって海底を沖へ流れ出る。この時、離岸流の沖方向ベクトルと沿岸流の南西から北東へ向う方向ベクトルを合成した時、ちょうど真北の方向ベクトルになる。この合成されたベクトルの水の流れが、北東から南西へ向う沿岸流よりも優勢に作用し、栈橋より北東側に位置する、弧状沿岸砂州接合部の極浅部が約50m、北東側へ動いたのである。

## 2.2 岸沖方向の海底地形図

Fig.2の②、③に示すように、栈橋の南西側の縁を沖方向へ延長した、水深10mの地点から岸へ向って、水深3.0mの地点まで深淺測量を行った。これらの海底地形図 (Fig.5, 7) は、Bar型の断面形状をしており、弧状沿岸砂州中心部であることがわかる。また、もう一方の海底地形図 (Fig.6, 8) は、栈橋の中心から北東側へ約300m、350mのそれぞれの地点を、水深10mの地点から水深3.0mの地点まで、沖から岸へ向って深淺測量を行ったものである。これらの海底地形図は、2005年3月6日と9月28日にそれぞれ深淺測量を行ったもので、Step型の断面形状をしていて、弧状沿岸砂州接合部である。

### (1) 各海底地形図の比較

それぞれの海底地形図において、2005年3月6日 Fig.5と9月28日 Fig.7の両者を比較してみると、要所、要所の位置に変化がないように見える。しかし、Trough, Barで約30~50cm、後者の方が水深を増している。TroughとBarの比高は、それぞれ約2.0m、1.7mである。

Fig.6とFig.8では、要所、要所の位置には変化がない。唯一、水深10mの地点がやや沖側へ動いた。沖側斜面で、砂の堆積があつたように思える。後者の方が極深部と極浅部で、それぞれ約1.0m、水深を増している。極深部と極浅部の比高は、それぞれ約2.0m、2.0mということになる。

### (2) 各変異の要因

このように、それぞれの変異に対しての要因を論述すると、主因は、離岸流と沿岸流である。離岸流は、いろいろな要因のもとで、猛烈に発達し、弧状沿岸砂州中心部のNearshoreやTroughを削り、また砂・礫を運びながら岸側斜面を追上って進む。当然、Barの頂上の砂も削り、流れ進む。

ここで、前項で述べた、南西から北東へ向う強烈な沿岸流と離岸流との合成になった、方向ベクトルの強烈な水の流れが、真北あるいは北東の方向へ流れ行く。北ないし北東からの風と波の他、いろいろな要因で発生する北東から南西へ向う沿岸流よりも優勢であることにより、栈橋より北東側に位置する弧状沿岸砂州接合部を約50m、北東側へ動かした。そのうえ、沖側斜面に砂の堆積を行い、水深10mの地点を沖側へ動かしたことである。

2005年3月6日と9月28日の両日において、栈橋の中心から南西側へ約350m、約250mに、それぞれ位置する弧状沿岸砂州接合部が、沖から岸へ向って深淺測量と海底底質採取をされていなかった事が大変残念であった。このため、海底地形に関しては、断片的にしかならぬ。また、そのうえ、今回の後半に出て来る、海底底質の粒度組成の変異に関しては、

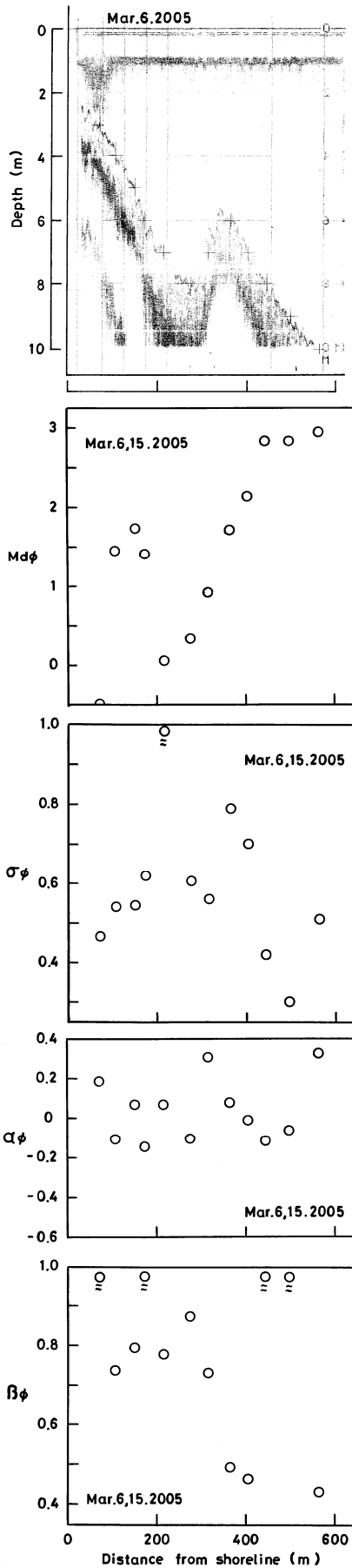


Fig.5 At the central measuring line on the crescent-shaped bar, on Mar.6,15.2005.

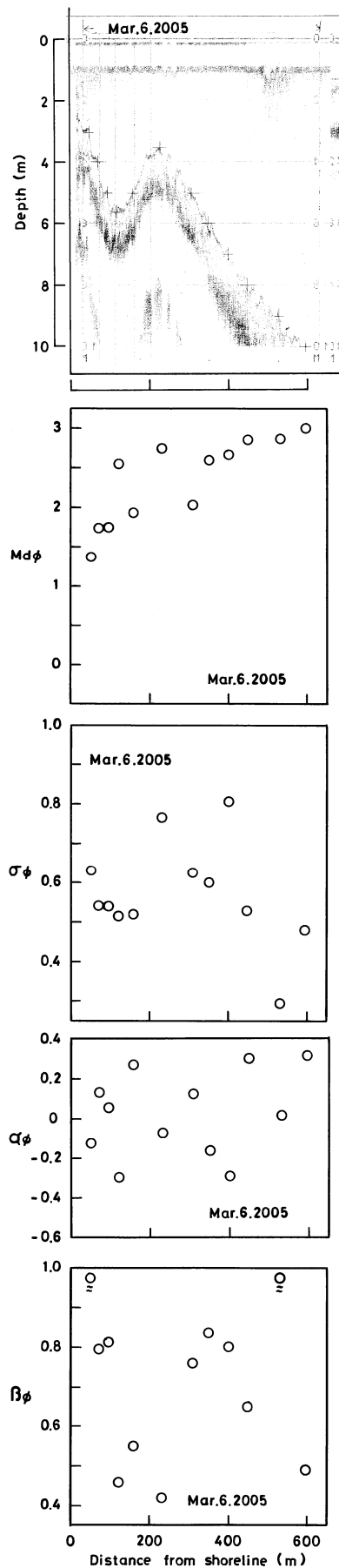


Fig.6 At the jointed measuring line on the crescent-shaped bar, on Mar.6. 2005.

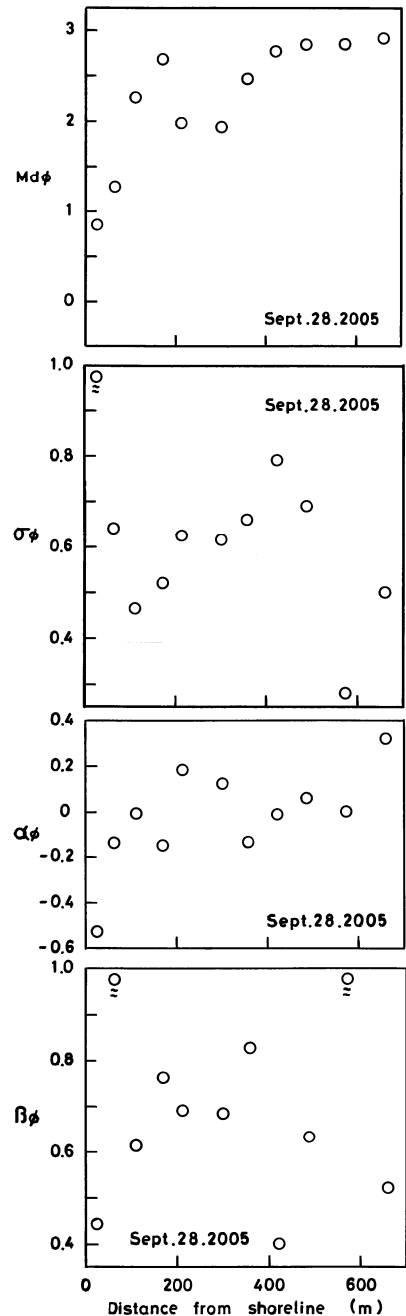
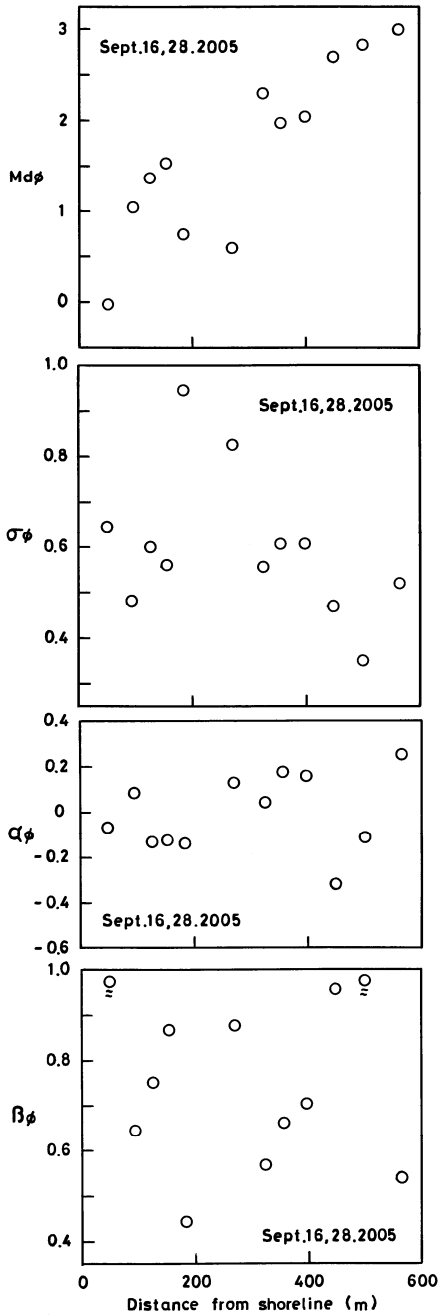
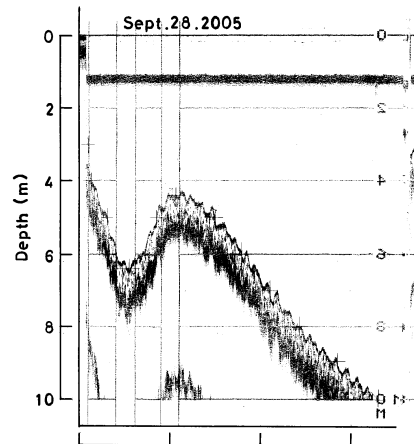
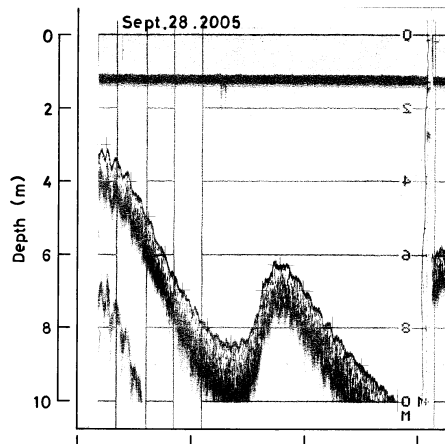


Fig.7 At the central measuring line on the crescent-shaped bar, on Sept.16,28,2005.

Fig.8 At the jointed measuring line on the crescent-shaped bar, on Sept.28,2005.

重要な論点を考察できなかつた、ゆえに次の機会には、是非、この測線において、深浅測量と海底底質採取を行うよう心掛ける。

### 2.3 2004年以降の海底地形の変異

前回(内山, 2005)の2004年11月10日から、今回の2005年3月6日までに、海底地形図で、どのように変異したかを考察する。また、この後に、変異のためのいくつかの要因について論述したいと思う。

#### (1) 測線①沿いの地形の変異

Fig.2の①において、深浅測量をした海底地形図で、2004年11月10日(内山, 2005) - Fig.5(前者)と2005年3月6日 - Fig.3(後者)を比較する。まず、後者において、0から南西側へ約350mの地点にある二番目に高い山で、弧状沿岸砂州接合部の極浅部は、前者に、測量してないのでない。前者で、0から南西側へ約50mの地点にあった谷が、後者では、0から南西側へ約100mの地点に存在する。南西側へ約50m移動したことと、水深は変わりなく、約7.5mである。前者において0から北東側へ約50mの地点～約100mの地点間に、頂上が平になった小高い山がある。後者には、それが、0から南西側へ約50mの地点～0から北東側へ約150mの地点間に、“お椀”をかぶせた様な状態で、丸みを帯びて存在する。これの頂点の位置が、0から北東側へ約80mの地点にあって、水深が約6.0mを示す。前者のここでの水深が約6.5mなので、約50cmの砂が堆積した事になる。つぎに、前者の海底地形図で、0から北東側へ約350mの地点にある、一番高い山は、弧状沿岸砂州接合部の極浅部にあたる。この山を、後者のそれと比べた時、その位置が、約50m程、南西側へ寄っている。しかも、山の形状はゴツゴツしている。頂点の水深が約30～50cm程、深くなっていて、南西側の斜面は急になっている。北東側からの強い水の流れによって、この山が削られて、南西側の斜面に堆積するという行動で、南西側へ移動の最中ではないだろうか。この行動により、山の南西側すぐ隣りにあった、前者で、浅くて、幅の広い谷が、なくなりそうになり、代って、後者でその南西側隣りの小高い山が、砂の供給を伴い、丸みを帯びて、幅広くなり、全体的に南西側へ動いたと思う。

#### (2) 測線②, ③沿いの地形の変異

Fig.2の②③において、沖から岸へ向って深浅測量をした海底地形図で、2004年11月10日(内山, 2005) - Fig.10, 11(前者)と2005年3月6日 - Fig.5, 6(後者)を比較する。まず弧状沿岸砂州中心部で、前者のFig.10から後者のFig.5へと、どのように変異したかと言うと。全体的に、後者の方が約50m程、岸側へ寄っていて、傾斜が急になった。特に、岸側斜面

では、断崖の様に落ち込んでいる。前者の(Fig.10)の海底地形図で、汀線から沖へ約100mの地点～沖へ約300mの地点まで、棚ができていて、傾斜が緩かだが、後者のFig.5では傾斜が急である。汀線付近で、前者のFig.10は急傾斜なのに、後者の(Fig.5)は緩かだ。後者のFig.5のTroughとBarに若干の砂の堆積が見られる。

弧状沿岸砂州接合部で、前者の(Fig.11)から後者の(Fig.6)へと、どのように変異したか、述べる。全体的に、後者の方が約50m程、岸側へ寄っていて、傾斜が急になった。極深部と極浅部で、若干の砂の堆積がみられる。

(1)と(2)で述べた、それぞれの変異の状態を、しっかり考察したのち、いくつかの、その要因を論述する。まず、(1)と(2)項で述べた、変異の状態を整理すると、要所、要所の各地点において、2004年11月11日から2005年3月5日までの間に、南西側へ、および岸側へそれぞれ約50m程、移動したという事である。この事から、主因として考えられるのは、沿岸流ということだ。

この期間は、冬季の真最中であって、当然北西からの季節風が強烈に吹く。一応、前述の条件のもとで、北西から風が吹いた日数を調べたら、約23回であった。また、西から風が吹いた回数が約13回である。波については、直江津港防波堤がこの期間で、全体の3分の2の完成度からして、発達し、その先端で波が屈折することで、やや、南西側へ曲がって進むことになるだろう。2005年3月6日の弧状沿岸砂州中心部の海底地形図(Fig.5)において、岸側斜面が急傾斜になっており、猛烈に発達した、離岸流が岸側斜面を削ったものと思われる。しかし、風は、西寄りからよりも北西からの方の頻度が高いゆえ、当然、棧橋付近では、汀線に対して直角に波が入って来ることになる。棧橋の中心から北東へ約60mの地点～約1000mの地点間で、離岸堤が既設されていて、離岸堤と離岸堤の間、あるいは離岸堤と汀線の間が水路のように化する。また、前述の風と波の諸条件と相まって、その他いろいろな条件により、北東あるいは、北寄りから南西へ向っての沿岸流が猛烈に発達することになるだろう。この沿岸流こそが、南西から北東へ向う沿岸流、あるいは弧状沿岸砂州中心部における離岸流、もしくは、両者の方向ベクトルを合成した、水の流れよりも優勢に作用し、弧状沿岸砂州全体を約50m程、南西側へ、あるいは岸側へと移動したことになる。

### 3. 海底底質の粒度組成(岸沖方向変異)

### 3.1 海底底質採取と粒度分析

冬季には激しい季節風、大きな波が毎日のように続くため、船を出して、海底底質採取はできない。今回、運よく、条件がよく整って、冬季の終りに近いとはいえ、2005年3月6日にそれができた。栈橋先端から岸側については、栈橋の上からの海底底質採取地点が重複することになり、3月6日に一番近い3月15日の海底底質試料を採用した。つぎに、夏季の終りに近い、2005年9月28日に、船による海底底質採取を行った。上と同様に、栈橋の先端から岸側については、9月28日に一番近い、9月16日の海底底質の試料として採用した。これで、両者を比較することにより、冬から夏にかけて、粒度組成がどのように変異したか、考察することによって、新しい、重要な知見が得られるだろう。また、前回の(内山, 2005)で、船による海底底質採取の2004年11月10日および上述と同様に栈橋先端から岸側については、2004年11月14日に栈橋の上から採取した海底底質の各々の粒度組成を比較する事も有益であろう。

それぞれ、上述の条件のもとで、定量採取した試料を自然乾燥し、均質に処理して、1/4φ間隔で標準フルイを用いて慎重に、かつ、精度の高い粒度分析を行った。また、以下において、解析時すべてに、ウェントワースの粒径区分に従って表現する。

### 3.2 近似計算による粒度組成 (中央粒径: $Md\phi$ , 標準偏差: $\sigma\phi$ , 歪度: $\alpha\phi$ , 尖度: $\beta\phi$ )

#### (1) 2005年3月6日

弧状沿岸砂州中心部(水深: 3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 7.0m)での粒度組成の各パラメータは、2005年3月15日に栈橋から採取した海底底質の粒度組成)において(Fig. 5),  $Md\phi$ は、汀線付近で $-1.0\sim 0\phi$ の値を示し、極粗砂で組成する。汀線から沖へ約100mの地点~約200mの地点間のNearshoreで $1.0\sim 2.0\phi$ の値を示し、中砂で組成している。汀線から沖へ約200mの地点~約350mの地点間のTrough, 砂州岸側斜面で、 $0\sim 1.0\phi$ の値を示して、粗砂で組成する。汀線から沖へ約350mの地点~約400mの地点間のBar, 砂州沖側斜面で、 $1.5\sim 2.5\phi$ の値を示し、中砂・細砂で組成する。汀線から沖へ約400mの地点~約600mの地点間で、 $3.0\phi$ に近似の値を示し、微砂に近い細砂で組成している。 $\sigma\phi$ は、汀線から沖へ約50mの地点~約200mの地点間で、岸から沖へ向って、値が序々に大きくなっている。通年だと汀線付近に堆積している礫成分が強い離岸流によって、沖側へ運ばれる事により、Trough前後で、値が大きくなる。しかし今回は、冬季の終わり頃といった事情もあり、離岸流が弱く、汀線付近に堆積の粗粒成分の極粗砂が序々に

沖側へ移動し、堆積した。ゆえに、この地点間で、沖へ行くにつれ、極粗砂の混合の度合いを増して行く事になり、値も少しづつ沖へ行くにつれて、大きくなって行った。汀線から沖へ約200mの地点で、Troughに一番近い地点は、極度に値が大きく、淘汰が悪い。これは、汀線付近から弱い離岸流によって移動した、小礫・極粗砂が、この地点に堆積し、混合する事によって、値が大きくなったのだろう。汀線から沖へ約250mの地点~約350mの地点間のTrough, 砂州岸側斜面で、値が小さい。これは、二箇所粗砂を混合して、堆積しやすく、移動しやすい性質があること(内山, 2002)。後述になるが、両箇所共に、分級作用が顕著であるがゆえに、値を低くしたのである。汀線から沖へ約350mの地点~約400mの地点間のBar, 砂州沖側斜面で、値が大きくなっている。これは、前の箇所である、Trough, 砂州岸側斜面で分級作用を受けた細粒成分の中砂・細砂の堆積場所である。今回の場合、岸側へ、あるいは南西側へ移動の事から、沿岸流の上手側の砂州接合部の沖側に堆積する細粒成分が運ばれて、堆積し、それらと混合したのだろう。これが、値を大きくする所以である。汀線から沖へ約400mの地点~約600mの地点間のOffshoreで、値が小さい。この箇所は、微砂に近い細砂が主に堆積していて、水の流れは、ある程度速いが、砂の移動はほとんどない。つまり、移動限界水深となるだろう。それで、値が小さく、一定なのである。 $\alpha\phi$ は、汀線から沖へ約50mの地点~約300mの地点間で、正にシフトする点と、負にシフトする点が半々となる。汀線から沖へ約300mの地点~約600mの地点間は、Troughから沖側という事で、正にシフトする点が半分以上となる。このように、負側あるいは正側にシフトするのは、主要成分よりさらに粗粒な、あるいは細粒な、微量な成分が分布曲線の負あるいは粗粒側に、正あるいは細粒側に、その反対側よりも長い“tail”をもつことが、その方に歪む要因なのである。 $\beta\phi$ は、汀線から沖へ約50mの地点~約300mの地点間で、岸から沖へ向って、大きな値から序々に小さな値へと変化している傾向を示す。汀線から沖へ約350mの地点~約600mの地点間は、2点を除いて、小さい値を示して、安定している。 $\beta\phi$ は、理論上からいって、値の面で、 $\sigma\phi$ とは逆相関になる傾向なのだが、この図では、その傾向は見られない。

弧状沿岸砂州接合部において(Fig. 6),  $Md\phi$ は、汀線から沖へ約50mの地点~約200mの地点間で、 $1.0\sim 2.0\phi$ の値を示し、中砂で組成する。しかし、この地点間で、汀線から沖へ約150mの地点に位置する、極深部のみ、 $2.5\sim 3.0\phi$ の値であって、細砂で組成している。汀線から沖へ約200mの地点~約600mの地



点間で、 $2.5 \sim 3.0 \phi$ の値を示し、微砂に近い細砂で組成する。汀線から沖へ約300mの地点の沖側斜面で、 $2.0 \phi$ の近似値を示し、細砂寄りの中砂で組成している。この測線は、全体的に細粒な傾向を示していて、沖側から、あるいは北東側からの砂の供給があって、この図のごとくとなったのだろう。つまり、極深部と極浅部には、沖側からの砂が堆積し、岸側、沖側の両斜面には、北東側からの砂が堆積しているようだ。 $\sigma \phi$ は、汀線から沖へ約50mの地点～約200mの地点間で、値が小さく安定している。この地点間は、北東あるいは北からの大きいベクトルを持った沿岸流によって、激しい分級作用が起り、沖側へ向って徐々に細粒な砂を堆積していった。特に、極深部において、沖側からの砂の供給で、細粒側へ分級作用を受けたため、値を小さくしたのである。汀線から沖へ約200mの地点～約600mの地点間で、沖へ向って値が小さくなっている。上の地点間の中で、汀線から沖へ約250mの地点と約400mの地点の2地点において、値が大きく、淘汰が悪い事から、分級作用があまり行われなかったのだろう。その上、沖側からの細粒な砂が移動して来て混合したのではないか。こういった状況のもとで、全体的に南西側へ、あるいは岸側へ少し移動したものと見える。 $\alpha \phi$ は、汀線から沖へ約50mの地点～約250mの地点間で、負、正の値を示す点は半々である。汀線から沖へ約300mの地点～約600mの地点間は、圧倒的に正の値をとる点が多い。上で論じた、負あるいは正側へ歪む要因と合せて、もうひとつの知見としては、 $\alpha \phi$ の値で、負あるいは正側に歪む事は、 $\sigma \phi$ の値を固定的な概念でとらえる淘汰度ではなく、先見の概念に立った、動的な見知からとらえる事ができるのではないか。つまり、 $\sigma \phi$ の値と $\alpha \phi$ の負あるいは正側へのシフトによって、分級作用がどれだけの頻度で、そして、粗粒側なのか細粒側なのか見通せるのではないか。 $\beta \phi$ は、汀線から沖へ約50mの地点～約100mの地点間で、値が大きい。汀線から沖へ約100mの地点～約250mの地点間で、値が小さい。汀線から沖へ約300mの地点～約600mの地点間で、値が大きく、沖へ行くにつれて、値が小さくなっている。汀線から沖へ約550mの地点の水深9.0mの点を例外とすれば、ちょうど、負の三次関数のグラフのような感じだ。いずれにしても、 $\sigma \phi$ の値とは逆相関のような気がする。

## (2) 2005年9月28日

弧状沿岸砂州中心部(水深:3.0, 4.0, 5.0, 6.0, 7.0mでの粒度組成の各パラメータは、2005年9月16日の棧橋から採取した底質の粒度組成)において(Fig. 7),  $Md \phi$ は、汀線から沖へ約50mの地点で、 $0 \phi$ に近似の値を示し、粗砂に近い極粗砂で組成する。

汀線から沖へ約100mの地点～約300mの地点間で、 $0.5 \sim 1.5 \phi$ の値を示し、粗砂・中砂で組成している。これは、海底地形の変異の項で論じたように、西からの数回の強風によって、あるいは、その他いろいろな条件により、南西から北東へ向う沿岸流のベクトルが大きく発達した。そのため、沿岸流の上手側のNearshoreに滞留していた、侵食済みの海岸砂丘砂が運ばれて堆積したようだ。特に、Troughやこの岸側手前の地点では、中砂に近い粗砂の組成で堆積している事から、これは、新砂丘砂の主要成分である。以前、このふたつの地点では、礫成分の堆積がみられたが、糸魚川地域のいくつかの河川から流出した礫が、直江津港防波堤の延伸により、沿岸流が遮断したことで、流れて来なくなったからである。汀線から沖へ約300mの地点～約600mの地点間は、 $2.0 \sim 3.0 \phi$ の値を示し、細砂で組成している。この測線は、離岸流が猛烈に発達することからして、沖へ向って細粒側へ分級作用を受けて、細粒化して行くことになる。全体的にみて、正の相関関係を示し、岸から沖へ向って、細粒化している。また、水の流れも同順なようだ。 $\sigma \phi$ は、汀線から沖へ約50mの地点～約200mの地点間で、値が小さい。離岸流によって、粗粒側へ分級作用を受けたようだ。汀線から沖へ約200mの地点～約300mの地点間は、値が大きく、淘汰が悪い。これは、堆積のみで、分級作用が行われなかったように思える。汀線から沖へ約300mの地点～約600mの地点間で、値が小さく、淘汰が良い。水深、8.0, 9.0mの地点で、値が安定している事から、移動限界水深であろう。 $\alpha \phi$ は、汀線から沖へ約50mの地点～約200mの地点間で、負にシフトし、汀線から沖へ約100mの地点の1点のみが正にシフトしている。汀線から沖へ約250mの地点～約400mの地点間は、正にシフトする。汀線から沖へ約450mの地点～約600mの地点間で、2点が負に、1点が正に、それぞれシフトしている。このように、負側へ、あるいは正側へ歪むのは、前述の要因からであって、これらの結果から重要な知見が得られる事になる。 $\beta \phi$ は、全体的にみて、明瞭な傾向は見られないが、強いていえば、 $\sigma \phi$ の各々の値に対して逆相関しているような気がする。

弧状沿岸砂州接合部において(Fig. 8),  $Md \phi$ は、汀線から沖へ約25mの地点～約100mの地点間で、 $0.5 \sim 1.5 \phi$ の値を示し、粗砂・中砂で組成する。汀線から沖へ約100mの地点～約200mの地点間で、 $2.0 \sim 3.0 \phi$ の値を示し、細砂で組成している。これは、前項の海底地形の変異で論じたように、弧状沿岸砂州中心部と共に接合部も沖側へ若干、北東側へ約50m程、移動した事である(Fig. 4)。また、接合部において、3月6日(Fig. 6)と9月28日(Fig. 8)の岸沖方

向の海底断面形状を見比べると、後者の方が丸みを帯びていて、各箇所共に、水深が0.5~1.0m程深い。また、極深部では、その幅が広いという事と、沖側斜面からOffshoreにかけて、なだらかになっている。上述した、いくつかの論点からすると、前者は、北東あるいは北から、大きなベクトルを持った沿岸流によって、南西側および岸側へ押された事となる。一方、後者は、南西からの沿岸流および離岸流によって、および、そのふたつの水の流れの合成により、大きなベクトルを維持した、それぞれの水の流れが、北東側へ約50mおよび沖側へ向って微少、押したのである。これで、各地点において、堆積している海底底質の粒度組成に、納得がいく。汀線から沖へ約200mの地点~約300mの地点間で、 $2.0\phi$  近似の値を示し、細砂に近い中砂で組成し、沿岸流の上手側に位置する、弧状沿岸砂州中心部から、斜面を追上って、堆積したものとみられる。汀線から沖へ約350mの地点~約700mの地点間で、 $2.5\sim 3.0\phi$  の値を示し、細砂で組成する。移動限界水深は、8.0mか9.0mであろう。 $\sigma\phi$  は、汀線から沖へ約25mの地点で、値が極めて大きく、淘汰が悪い。粗粒成分の混合により、そうなのであろう。汀線から沖へ約100mの地点で、値が極めて小さく、淘汰が大変よかった事を示している。この地点は、極深部にあたり、北東側へあるいは沖側への沿岸流が顕著だった事と、分級作用もそうであろう。この地点~汀線から沖へ約450mの地点間で、沖へ向って次第に値が大きくなって、極大値を示す。これは、海底断面図 (Fig. 8) で見る限り、沖側へ大きなベクトルを持った水の流れがあり、粗粒側へ分級作用を行って、粗粒成分の混合により、値を除々に大きくした。汀線から沖へ約500mの地点~約700mの地点間は、沖へ向かって、値が小さくなっている。この地点から沖側は、ほとんど水の流れがないのではないか。また、大部分が、細粒成分の堆積となるので、この辺が移動限界水深とみるべきだ。 $\alpha\phi$  は、汀線から沖へ約25m, 約50m, 約175m, 約350mの4地点で、負にシフトする。他の7地点で、0か、または正にシフトしている。このように、負側、あるいは正側に歪むのは、前述の要因からであり、この事より重要な知見を得る事になる。 $\beta\phi$  は、全体的にみて、明瞭な傾向はみられないが、強いていえば、 $\sigma\phi$  の各々の値に対して、逆相関しているような気がする。

### (3) $Md\phi$ と $\sigma\phi$ , $\alpha\phi$ の相関関係 (Fig. 9)

まず、(Fig. 9) 内の記号を説明すると、大別して、○：弧状沿岸砂州中心部（中心部）、●：弧状沿岸砂州接合部（接合部）である。(a)：Nearshore, (b)：Troughおよび極深部, (c)：岸側斜面, (d)：Barおよび極浅部, (e)：沖側斜面とそれぞれ明記する。また、

(a)~(e)の各々の地点で、描点に使われたパラメータは、以下に記述する年、月、日に船上からエクマンバージ採泥器で海底底質を採取し、高精度で粒度分析を行って、算出した値である。それは、2003年8月23日および2003年10月7日、2004年10月7日、2004年11月10日、2005年3月6日、2005年9月28日であって、ただし、2003年8月23日は、栈橋から沖側のみ底質採取を行い、2003年10月7日は接合部のみ底質採取を行ったものである。そのうえ、中心部でのNearshoreに描点のパラメータは、栈橋上から空缶によって、海底底質採取を行った試料を粒度分析をして、算出したもので、年、月、日は船上からのそれと、非常に近いものを使った。パラメータそのものの質も、両方類似しているものとみなす。栈橋上から底質採取をして、そのパラメータとして使用したものの年、月、日は、2003年8月19日、2004年10月18日、2004年11月14日、2005年3月15日、2005年9月16日とする。

(a)の区分では、 $Md\phi$  が $-1.0\sim 2.0\phi$  の値を示し、極粗砂・粗砂・中砂で組成して、値の幅が広い。接合部における点は、粗砂・中砂に収まっているのに対して、中心部の点は、極粗砂・粗砂・中砂と値の幅が広がっている。 $\sigma\phi$  との関係でみると、細粒側へ向って、徐々に分級作用が顕著になっている。それと共に、接合部の点は、中心部の点よりも上段に位置して、粗粒から細粒に組成する場合に急激に分級作用が進む事がわかる。一方、中心部の点は、下段に位置し、幅広い粒径区分を呈し、細粒側へ組成するにつれて、ゆっくりと分級作用が進む。しかし、接合部では、分級作用の行動自体は顕著である事がわかる。つぎに、 $\alpha\phi$  との関係でみると、接合部の点は、粗粒側へシフトする点やや多い。この地点には、もともと、細粒成分が堆積し、混合している。斜沖あるいは横からの沿岸流に作用されて運ばれて来た、移動しやすい、また堆積しやすい(内山, 2001)、粗粒成分である粗砂が堆積して混合する。この事から、前述で負側へあるいは正側へ歪む理由と合わせて考えると、この地点で、負側へシフトする傾向がある事で納得がゆく。中心部の点も、粗粒側へシフトするのがやや多い。この地点は、離岸流のみが作用して、礫成分も汀線付近から移動して来て、堆積し、混合する。ここで、離岸流の水の流れで、分級作用が起り、先程の理由も加わり、負側へシフトする傾向となる。

(b)の区分では、 $Md\phi$  が $-0.5\sim 2.5\phi$  の値を示して、極粗砂・粗砂・中砂・細砂で組成し、粒径の値の幅が広い。中心部における点は $-0.5\sim 1.0\phi$  の値を示し、極粗砂・粗砂の粗粒成分での組成であって、粒径の値の幅が広い。これは、汀線付近やNearshoreに堆積している海底底質が離岸流によって運ばれて、

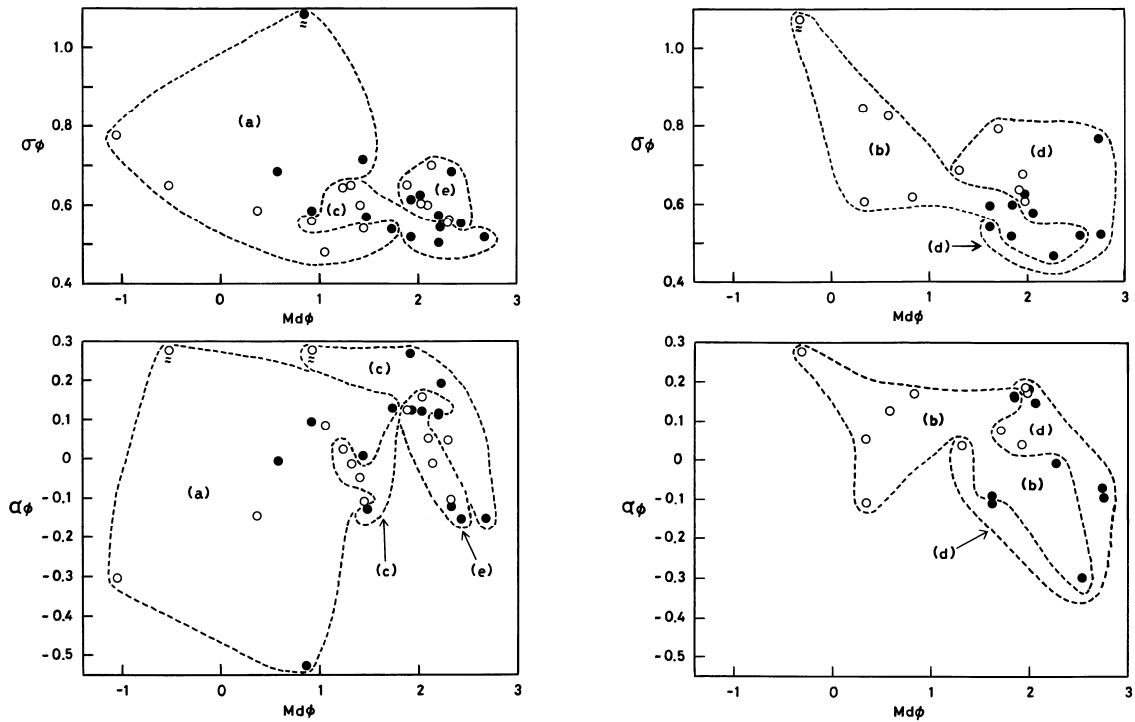


Fig.9 The correlation between  $Md\phi$  and  $\sigma\phi$ ,  $\alpha\phi$ , in the sediment of the sea bottom.

堆積したものと言える。つまり、この地点は、いろいろな箇所から運ばれて来て、堆積の場であることがわかる。当然、主要成分が極粗砂・粗砂の海岸砂丘砂も含まれている事だろう。一方、接合部における点は、 $1.5\sim 2.5\phi$ の値で、中砂・細砂で組成している。この地点では、細粒成分が主要を成しているため、沖側から運ばれたか、あるいは、横から分級作用を受けて運ばれての堆積であろう。 $\sigma\phi$ との関係でみると、中心部では、細粒になるにつれて、分級作用も顕著に行われるようだ。接合部では、粒径の範囲が狭くまとまっていて、分級作用も中心部より極度に激しく行われる。 $\alpha\phi$ との関係でみると、中心部では、細粒側へ大部分がシフトしている、接合部で、その逆となっている。前述の負側あるいは正側と、どちらかに歪む要因と合せて考えた時に、この場合、どちらかにシフトする側へ向って、分級作用が進む事がわかる。

(c)の区分では、 $Md\phi$ が $1.0\sim 3.0\phi$ の値を示して、中砂・細砂で組成する。粒径の値の範囲がやや広く、それぞれ2点づつを例外として、中心部では中砂を、接合部では細砂を、組成している。 $\sigma\phi$ との関係では、この区分全体として、(b)の区分の接合部の分級作用の度合いと類似する。いずれにしても顕著に行われる事は、間違いない。粗粒成分で組成する大部分の中心部の点から、細粒成分で組成する大部分の接合部の点の方へ、負の相関関係を示すように、ゆるやかに、分級作用の度合いを増して行っている。 $\alpha\phi$ との関係では、中心部と接合部に、極度に値が

大きい点と、やや、その大きい点がそれぞれ1点づつあり、この事とともに、細粒側にシフトする点が多い。また、前述の歪む要因とを加味して考えた時に、両測線とも、細粒側へ向けて分級作用を受けた事になる。

(d)の区分では、 $Md\phi$ が $1.0\sim 3.0\phi$ の値を示し、中砂・細砂で組成している。中心部は、全点が中砂で、接合部は、1点が中砂で、他の点は細砂で、それぞれ組成することになる。 $\sigma\phi$ との関係でみると、 $\sigma\phi$ の値にある程度の幅があり、全体的な傾向として、細粒側へ向って、右肩下りで、ゆっくりと分級度を増している。中心部のBarで、分級作用にやや緩慢さがみられるのは、離岸流が沿岸流によって、流れの鋒を曲げられる場合があるからである。つまり、Nearshoreから激流となって流れ下ってきて、Troughの直前位から、沿岸流とベクトルの合成により、水の流れの勢いと方向が分散してしまう。このため、直進する流れは、岸側斜面を追って、ゆるやかに、Barに対処するため、このような緩慢さにつながりやすい。また、分散された流れは、岸側斜面の縁に沿って、回り込むように北東へ進む。ある流れの都合で、南西側へ回り込む場合もある。接合部の極浅部では、1点を除いて、激しく、分級作用が行われるようだ。この地点は、細粒成分の堆積が主で、沖側からと横からの水の流れによって、運ばれる細粒成分と粗粒成分の混合で、分級作用が活発となる。 $\alpha\phi$ との関係でみると、中心部のBarでは、全点が正にシフトしているが、接合部の極浅部では、半分以上

の点が負にシフトしている。Barでは、Troughや岸側斜面で、激しく分級作用を受けて、中砂よりさらに細粒な成分が追上って、堆積し、混合することにより、正にシフトすること、と共に、細粒側へ分級作用が進む所似である。極浅部では、沖側から細粒成分が、横から粗粒成分が、それぞれ、この地点に運ばれて、堆積し、混合することにより、また、分級作用も粗粒側へ優勢に作用することで、負側へ半分以上シフトすることに、つながる。

(e)の区分では、 $Md\phi$ が $1.75\sim 2.5\phi$ の値を示し、細砂で組成する。しかし、一部分で、細砂に近い中砂で組成の砂も存在する。粒径の幅も狭く、全体が小さくまとまった粒度組成をしている。 $\sigma\phi$ との関係を見ると、分級作用の度合を示す値の幅も狭く、(e)の区分全体が(c)の区分全体の点の上段に、乗っているようだ。前述のように、(c)の区分は、いろいろな方向から、強烈な水の流れの作用を受けることによって、分級作用は、5つの区分のうち、一番顕著に行われる。二番目として、(e)の区分が活発に行われることである。 $\alpha\phi$ との関係を見ると、正側に中心部と接合部でそれぞれ3つづつの点がシフトしていて、負側にそれぞれ点が2つづつ、そうになっている。つまり、この区分では、沖側からの水の流れの作用を受ける頻度が大であることから、ここに堆積している主要成分より、もっと細粒な成分が運ばれてきて、混合することで、正側にシフトすることがわかる。また、横からの水の流れによって、運ばれて来た、粗粒成分が混合することで、負側にシフトすることになる。要は、この地点で、細粒側へ分級作用を受けることが、やや優勢であると言える。

### 3.3 構成正規分布集団による解析

一般に、流体の作用のもとで堆積した細粒な岩層の多くは、粒径の対数値に対する重量頻度がしばしば正規分布か、またはそれに近い分布をすることが経験的に知られている。しかし、実際には、多くの堆積物は正規確率紙に累積頻度曲線を描いた場合に、屈曲の変換点を示し、オーバーラップした複数の正規分布集団から構成されている。すなわち、粒径区分がいくつかの正規分布集団の合成からなっている。いくつかの図は、粒度分析の結果を、正規確率紙の横軸に $\phi$ 値をとり、縦軸に重量頻度の累積頻度曲線を描いた。つぎに、屈曲の変換点の位置を的確に見出すために、重量頻度分布曲線によって、2つの集団がオーバーラップする粒径を吟味した。2つの変換点の間が構成正規分布集団の1つとして、小さな黒点を描点し直線を引く。数本の直線が引かれ、構成正規分布集団の分離が行われたことになる。

分離した構成正規分布集団を図上で再び合成して、

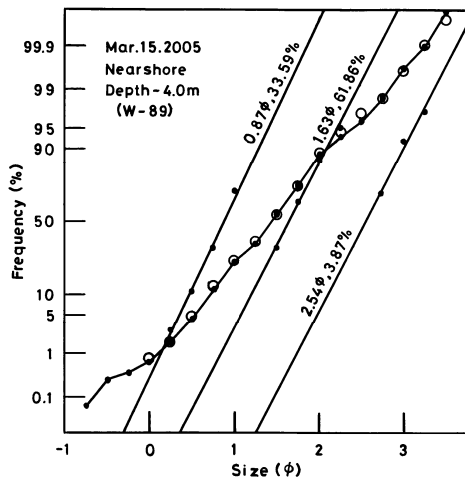
もとの累積頻度曲線と比較して正確に分離が行われたかどうかを検討した。白丸は、分離した構成正規分布集団の示す直線を図上で再び合成した描点である。白丸は、もとの累積頻度曲線の上に大体よくのっており、構成正規分布集団の分離がよい精度で行われたことを示している。また、粒度分析も高い精度で行われたことがわかる。

今回は、2005年3月6日、9月28日の2回、船上から海底底質を採取した試料をもとに集団解析をする。ちょうど、観測用栈橋を半円の弧で取囲むように、弧状沿岸砂州が形成されている。このため、砂州中心部は、栈橋の南西側の側面に沿って、および、その沖への延長としての測線と栈橋の中心から北東側へ約300mおよび約350m程行ったところに形成している砂州接合部の2測線の岸沖方向で集団解析を行った。なお、砂州中心部におけるNearshoreで水深が4.0mの地点の集団解析は、都合上、2005年3月15日および2005年9月16日に栈橋の上から空缶で海底底質採取の試料を用いて集団解析を行った。今回は、弧状沿岸砂州の2測線のうちで、岸、沖側斜面の、2地点を付け加えて解析することにした。要は、この2地点は、水の流れが一番強い場所で、そのうえ分級作用が最も顕著であるために、これらを解析することによって有益な、かつ重要な知見が得られるからである。

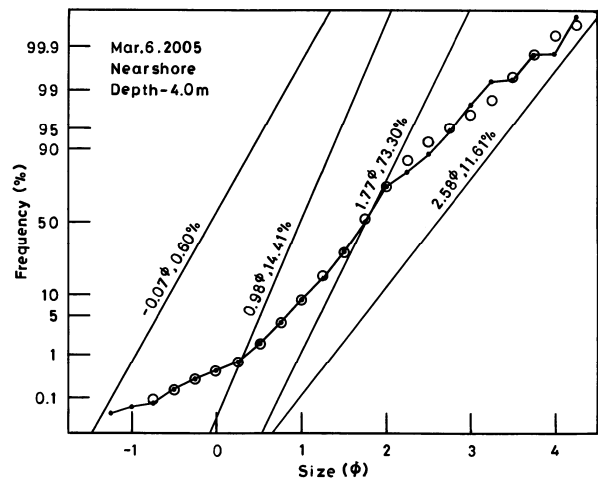
#### (1) 2005年3月6日、15日

弧状沿岸砂州中心部 (Fig.10) において、Nearshore(a)では、 $Md\phi$ が、 $0.9\phi$ の粗砂を33.6%、 $1.6\phi$ の中砂を61.9%、 $2.5\phi$ の細砂を3.9%で、それぞれ構成している。Trough(b)では、 $Md\phi$ が、 $-1.2\phi$ の小礫を2.5%、 $-0.3\phi$ の極粗砂を26.1%、 $0.5\phi$ の粗砂を62.6%、 $1.6\phi$ の中砂を7.4%、 $2.6\phi$ の細砂を1.1%で、それぞれ構成する。岸側斜面(c)では、 $Md\phi$ が、 $0.7\phi$ の粗砂を66.6%、 $1.6\phi$ の中砂を29.9%、 $2.7\phi$ の細砂を3.1%で、それぞれ構成する。Bar(d)では、 $Md\phi$ が、 $0.9\phi$ の粗砂を24.5%、 $1.8\phi$ の中砂を57.4%、 $2.8\phi$ の細砂を17.5%で、それぞれ構成している。沖側斜面(e)では、 $Md\phi$ が、 $0.9\phi$ の粗砂を6.2%、 $1.9\phi$ の中砂を55.7%、 $2.8\phi$ の細砂を34.7%、 $3.4\phi$ の微砂を3.1%で、それぞれ構成する。

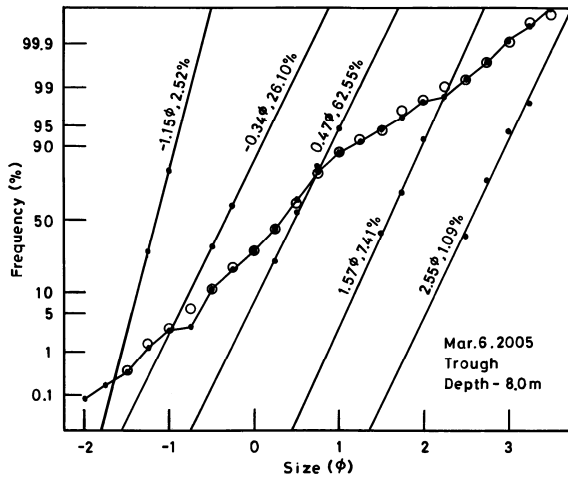
この測線では、一見、全体的に前回(内山, 2005)のこの測線(2004年11月10日)に比べて、細粒化している。この事は、沖側からと、また、北東からの水の流れの作用を受けた事は明白であろう。この事実として、この測線しかり、次に述べる、接合部においても、南西側へ約50mあるいは、岸側へ少しの距離だけ移動しているからである。前回から2005年3月6日までの期間は、冬季の真最中であって、北西の季節風の洗礼を強烈に受けたことだろう。この事か



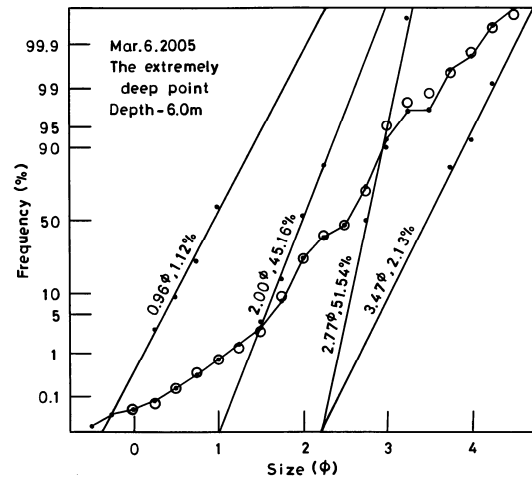
(a) On the nearshore



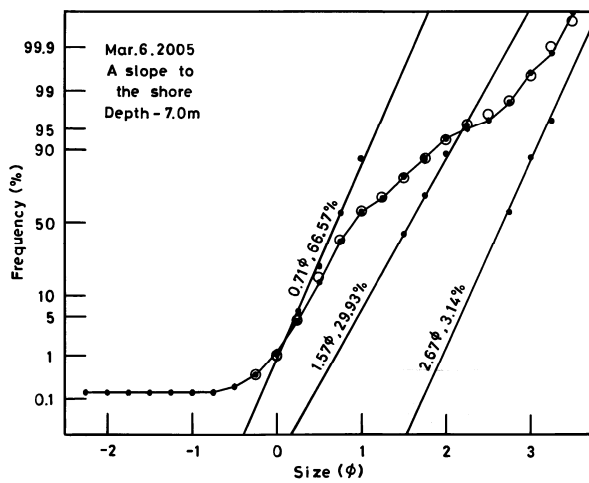
(f) On the nearshore



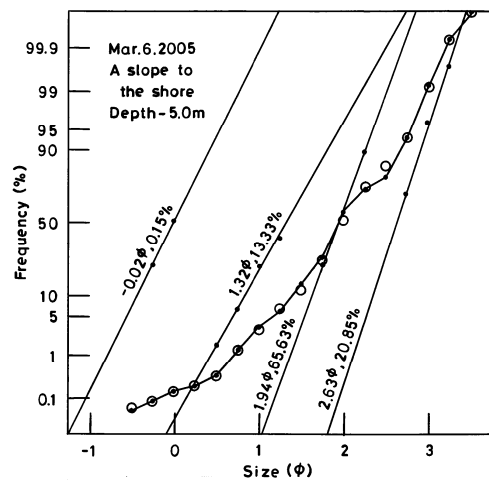
(b) On the trough



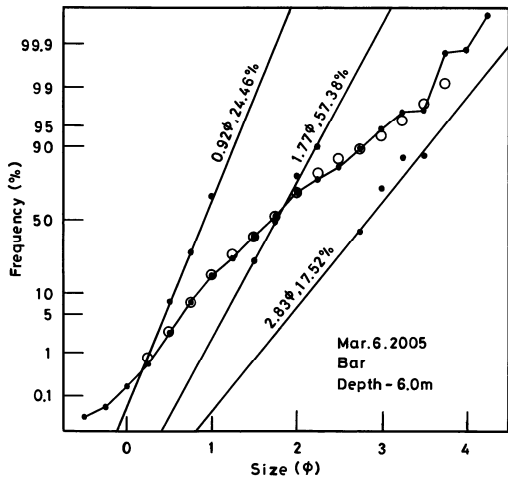
(g) On the extremely deep point



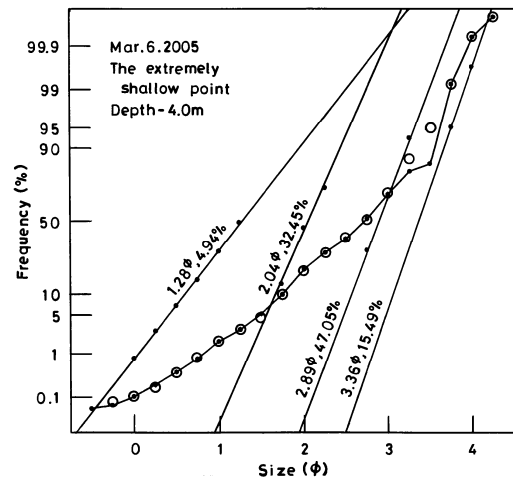
(c) On a slope to the shore



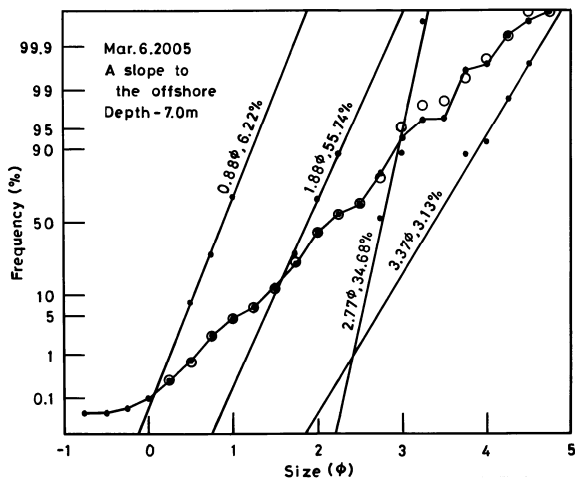
(h) On a slope to the shore



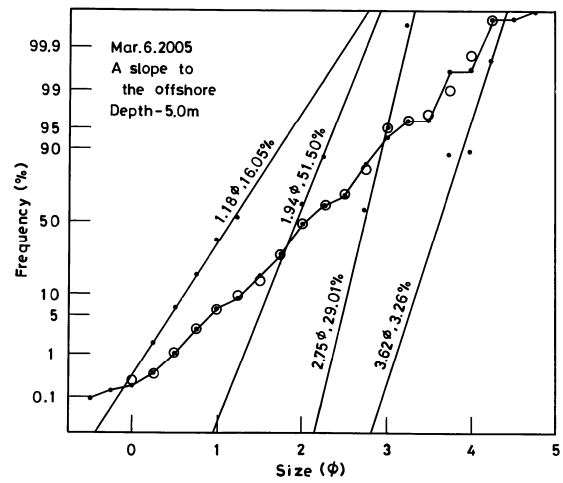
(d) On the bar



(i) On the extremely shallow point



(e) On a slope to the offshore



(j) On a slope to the offshore

Fig.10 — (a),(b),(c),(d),(e) At the central measuring line on the crescent-shaped bar, on Mar.6,15. 2005.

Fig.11 — (f),(g),(h),(i),(j) At the jointed measuring line on the crescent-shaped bar, on Mar.6. 2005.

Fig.10,11 Cumulative probability curve and constituent subpopulations derived by partitioning from the curve. Circles are the cumulative plots constructed from the partitioned constituent subpopulations, in the sediment on the sea bottom.

ら、冬季における北西からの季節風は、北東からの沿岸流を、他のいろいろな条件も加わって、極度に発達させるのではないかと推測される。栈橋より北東側に位置する、既設のいくつかの離岸堤によって、ちょうど水路を流れるかのように、北東から南西へ向う沿岸流を、前述の条件も加味して、強烈に発達することになる。南西から北東へ向う、少し沖を流れる沿岸流は、離岸堤の手前で、回り込むように、流れの向をやや岸方向へと変えるのだろう。このことから、南西から北東へ向う水の流れや離岸流よりも優勢に作用して、このような正規分布集団の構成となったので

ある。

ここで、前回（内山，2005）のこの測線（2004年11月10日）と正規分布集団の構成を大まかに比較してみる。ただし、前回は、岸、沖側斜面については、解析がないので、比較できない。Nearshoreにおいて、前回は、極粗砂・粗砂で98.3%と、主要成分の混合比の頻度が高いが、今回は、粗砂・中砂で95.5%と、主要成分の混合比の頻度の構成になっている。しかも、半分以上の混合比の頻度の構成が、極粗砂から中砂へと、極度の細粒化であって、礫成分の混合比の頻度の構成はなにもない。Troughにおいて、前回

は、極粗砂・粗砂で60.3%の主要成分の混合比の頻度の構成だが、今回は、極粗砂・粗砂で88.7%の主要成分の混合比の頻度の構成となっていて、礫成分も23.8%から2.5%と、極度に混合比の頻度の構成を減じて、細粒化した。Barにおいて、前回は、粗砂・中砂で、92.4%の主要成分の混合比の頻度の構成だが、今回は、粗砂・中砂で81.8%と、主要成分の混合比の頻度の構成をしている。二つで主要成分を構成しているが、頻度の高い方が、細粒側に転じた。細砂が20%近くの混合比の頻度の構成となっていて、いずれも、細粒化した事がよくわかる。

弧状沿岸砂州接合部 (Fig. 11) において、Nearshore (f) では、Md  $\phi$  が、 $-0.1\phi$  の極粗砂を0.6%、 $1.0\phi$  の粗砂を14.4%、 $1.8\phi$  の中砂を73.3%、 $2.6\phi$  の細砂を11.6%で、それぞれ構成している。極深部 (g) では、Md  $\phi$  が、 $1.0\phi$  の粗砂を1.1%、 $2.0\phi$  の中砂を45.2%、 $2.8\phi$  の細砂を51.5%、 $3.5\phi$  の微砂を2.1%で、それぞれ構成する。岸側斜面 (h) では、Md  $\phi$  が、 $-0.02\phi$  の極粗砂を0.1%、 $1.3\sim 1.9\phi$  の中砂を79.0%、 $2.6\phi$  の細砂を20.9%で、それぞれ構成する。極浅部 (i) では、Md  $\phi$  が、 $1.3\phi$  の中砂を4.9%、 $2.0\sim 2.9\phi$  の細砂を79.5%、 $3.4\phi$  の微砂を15.5%で、それぞれ構成する。沖側斜面 (j) では、Md  $\phi$  が、 $1.2\sim 1.9\phi$  の中砂を67.6%、 $2.8\phi$  の細砂を29.0%、 $3.6\phi$  の微砂を3.3%で、それぞれ構成している。

この測線では、全体的に、前回 (内山, 2005) のこの測線 (2004年11月10日) に比べて、一段と細粒化している。また、この測線自体、2004年11月10日から2005年3月6日の間に、南西側へ約50m程、移動した事になり、極浅部も岸側へ少し動いているようだ。この期間は、前述のように、冬季の真最中であるため、北西から強烈な季節風の洗礼を受ける頻度が高い。夏季には北から、時には北東からの風が吹く頻度が非常に高く、この最大風速も精々10m/s前後である。このときの沿岸流が、風と、その他いろいろな条件と相まって、北東から南西へ向って、強く発生する。今回の冬季における、強烈な北西からの季節風が、夏季での沿岸流を発生させるのと、類似した処条件を作り出すことにより、このような実体となるのではないか。

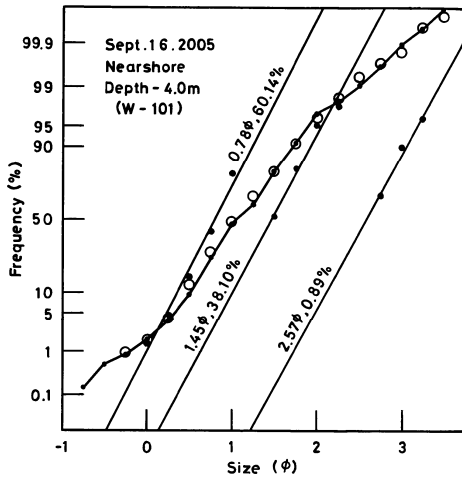
ここで、前回 (内山, 2005) のこの測線 (2004年11月10日) と正規分布集団の構成を大まかに比較してみる。今回は、岸、沖側斜面と2つの斜面での解析を行ったが、前回はないので比較できない。Nearshoreにおいて、前回は、粗砂・中砂で86.8%を、主要成分の混合比の頻度の構成だが、今回は、中砂のみで、73.3%の主要成分の混合比の頻度の構成であって、沖側あるいは横側から細粒成分の供給で、混合比の頻度を増した事だろう。極深部において、

前回は、中砂のみが88.7%の主要成分の混合比の頻度を構成しているが、今回は、細砂のみで、96.7%の主要成分の混合比の頻度の構成であって、一段と細粒化した事になる。極浅部において、前回は、細砂のみで、83.4%の主要成分の混合比の頻度の構成だが、今回も同じく、細砂のみで、79.5%の主要成分の混合比の頻度を構成し、微砂も15.5%の混合比の頻度の構成であって、沖側からの細粒成分の供給を受けて、混合比の頻度を増したことになる。

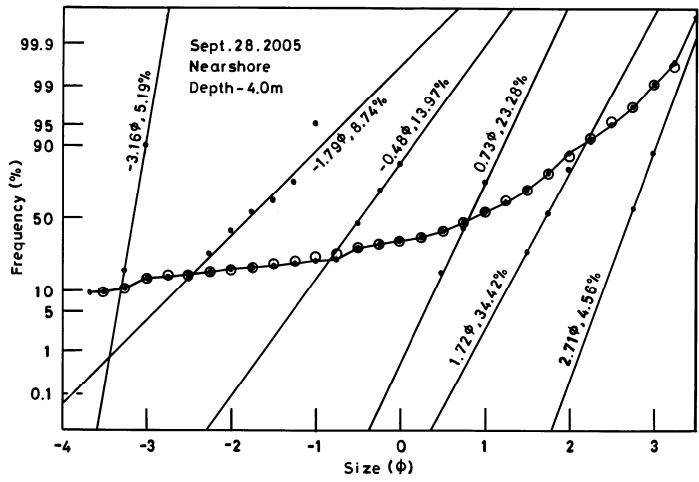
## (2) 2005年9月16日, 28日

弧状沿岸砂州中心部 (Fig. 12) において、Nearshore (a) では、Md  $\phi$  が、 $0.8\phi$  の粗砂を60.1%、 $1.5\phi$  の中砂を38.1%、 $2.6\phi$  の細砂を0.9%で、それぞれ構成している。Trough (b) では、Md  $\phi$  が、 $-2.5\phi$  の中礫を1.7%、 $-1.4\phi$  の小礫を2.8%、 $-0.3\phi$  の極粗砂を13.5%、 $0.6\phi$  の粗砂を59.3%、 $1.7\phi$  の中砂を18.6%、 $2.7\phi$  の細砂を3.6%で、それぞれ構成する。岸側斜面 (c) では、Md  $\phi$  が、 $1.4\phi$  の中砂を5.8%、 $2.0\sim 2.8\phi$  の細砂を91.1%、 $3.8\phi$  の微砂を3.0%で、それぞれ構成する。Bar (d) では、Md  $\phi$  が、 $1.3\sim 2.0\phi$  の中砂を73.4%、 $2.7\phi$  の細砂を23.8%、 $3.3\phi$  の微砂を2.4%で、それぞれ構成している。沖側斜面 (e) では、Md  $\phi$  が、 $1.3\sim 2.0\phi$  の中砂を70.4%、 $2.8\phi$  の細砂を26.8%、 $3.3\phi$  の微砂を2.8%で、それぞれ構成する。

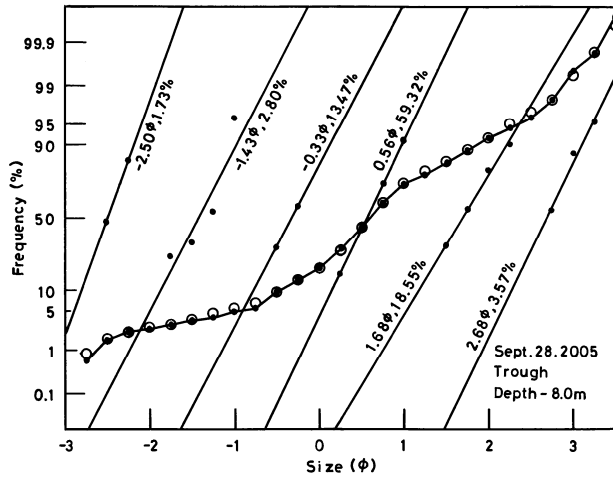
この測線では、先述であるが、Fig. 3とFig. 4の海底断面図を比べて、位置は変わっていないが、水深が1.0m程、深くなっている。この事から、相当、離岸流が発達し、この測線のNearshoreを削ったものと思われる。また、Barの位置についても、(Fig. 5)と(Fig. 7)を見比べる限り、微妙に沖側へ移動したのではないか。今回は前回 (2004年11月10日) と違って、棧橋より南西側へ約600m程の地点から北東へ向って、汀線に沿い、深浅測量を行った事から、棧橋の両側に位置する、弧状沿岸砂州接合部の確認ができた。これによると、3月6日から9月28日までの約6ヶ月間に、棧橋より南西側のそれは、北東側へ約100m、棧橋の北東側に位置するそれは、北東側へ約50mと、それぞれ移動したことになる。このような、海底地形の変異と合せて、水の流れを考える。まず、それが発生し、発達するための、いくつかの要因のうちの一つ、風についてである。6ヶ月間のうち、3月7日から31日までは、まだ冬季間のため、毎日のように、北西からの季節風で、15m/s前後の風が吹いて、波高も、最大で5m前後であった。その後、4月1日から9月27日までは、夏季としてみるが、7~8回位の西からの風が吹いて、最大15m/s前後で、波高も4~5m位の最大波高であった。その他の期間は、北からか、あるいは北東からの風で、最大10m/s前後で、最大波



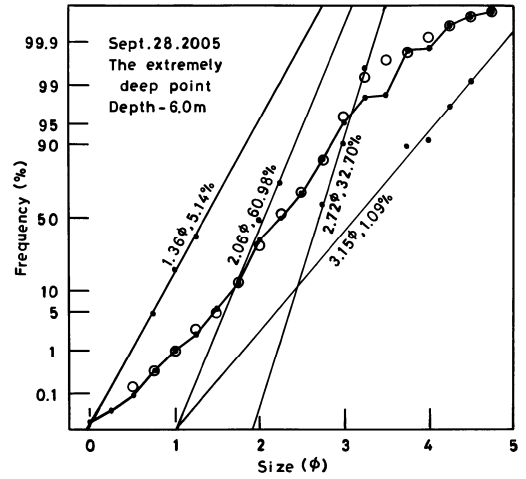
(a) On the nearshore



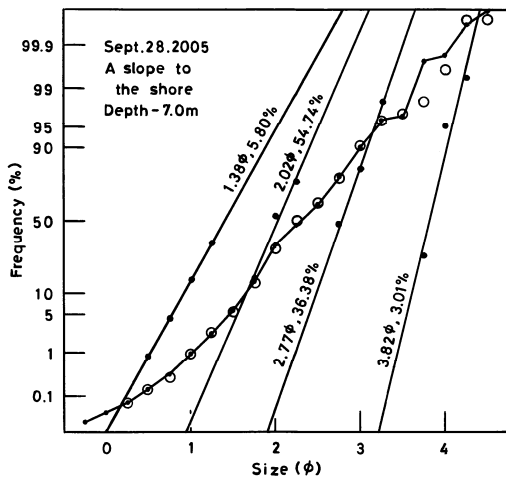
(f) On the nearshore



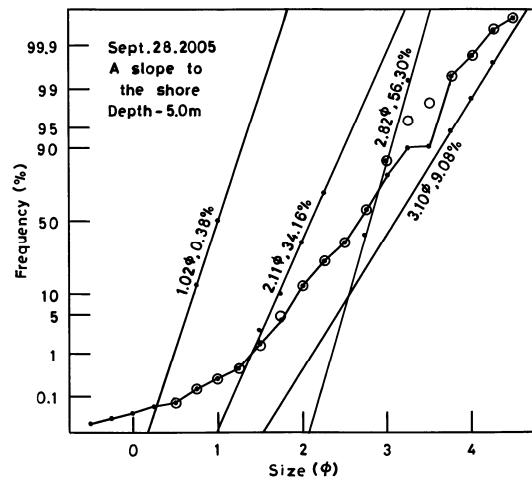
(b) On the trough



(g) On the extremely deep point

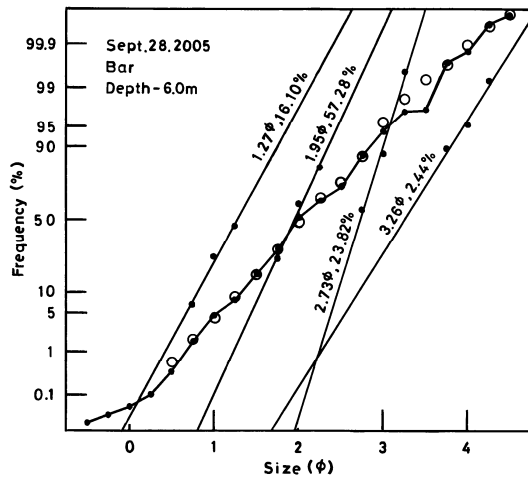


(c) On a slope to the shore

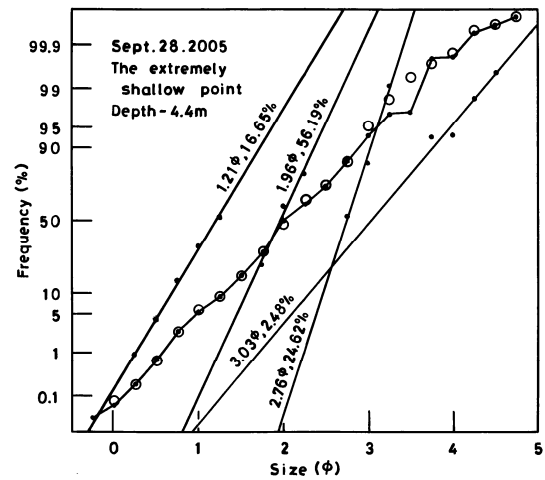


(h) On a slope to the shore

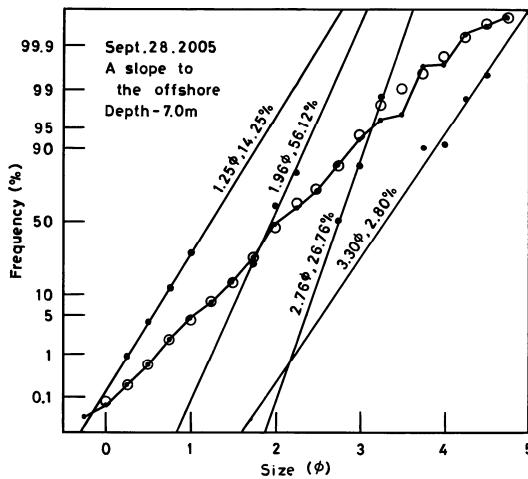




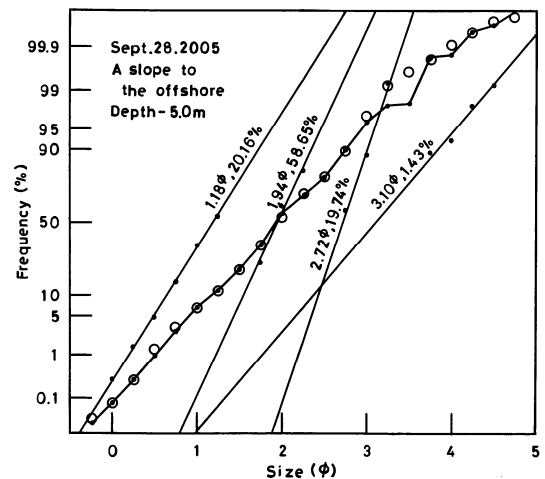
(d) On the bar



(i) On the extremely shallow point



(e) On a slope to the offshore



(j) On a slope to the offshore

Fig.12 - (a),(b),(c),(d),(e) At the central measuring line on the crescent-shaped bar, on Sept.16,28, 2005.

Fig.13 - (f),(g),(h),(i),(j) At the jointed measuring line on the crescent-shaped bar, on Sept.28, 2005.

Fig.12,13 Cumulative probability curve and constituent subpopulations derived by partitioning from the curve. Circles are the cumulative plots constructed from the partitioned constituent subpopulations, in the sediment on the sea bottom.

高も1.5m位なものである。上の事から、夏季になると、西からの風が15m/s前後と吹き、波高も4~5mとなる事によって、また、その他、いろいろな要因と合せて、南西から北東へ向う沿岸流が発生するのではないか。栈橋より南西側に既設の人工リーフによって、その岸側と沖側で、また、その近傍で、ちょうど水路ようになって、猛烈に発達するようだ。人工リーフと人工リーフの間の狭い箇所が水路のようになって、強烈な流れで、侵食した砂丘砂や砂・礫を吸い出すようにして流出し、それらの沖側

に滞留することになる。これらの滞留物を、猛烈に発達した南西から北東へ向う沿岸流が運び、最初にぶち当たる接合部に堆積させ、100m位も移動することになる。つぎに、離岸流と合流し、ベクトルの合成で、やや北寄りへの流れとなる。この水の流れが、北寄りからと北東から南西へ向う二つの水の流れよりも優勢に作用することになる。これで、Barにおいては、微妙に沖側へ移動となり、接合部の極浅部は沖側へ、また、それ自体は約50m程北東側へ移動となるのである。上述のシナリオと合せて、構成正規

分布集団の解析を論述すると、詳細な知見を得られると思う。

この測線において、正規分布集団の構成を大まかに解析、比較（3月6日、15日と）する。Nearshoreにおいて、前回（3月6日、15日）は、粗砂・中砂で95.5%の主要成分の混合比の頻度の構成で、しかも、細粒側の中砂が61.9%の混合比の頻度の構成である。先に論述したが、冬季でありながら、北寄りから、あるいは北東からの水の流れが、この地点の細粒化に寄与したのである。一方、今回は、前回と同様に、粗砂・中砂が98.2%と、主要成分の混合比の頻度の構成であるが、二つで主要成分の混合比の頻度を構成しているうち、頻度の高い方と低い方の成分が、前回と逆転している。つまり、粗砂が60.1%と、混合比の頻度の構成をしており、粗粒化した事になる。この事は、先に論述した事だが、数回の西からの強風で、そして、他に、いくつかの条件が重なって、南西から北東へ向う沿岸流が発生、発達する。しかし、夏季であるがために、西からの強風のある日、以外の日には、毎日、北あるいは北東からの風が吹いて、この他、いろいろな条件が重なって、北東から南西へ向う沿岸流が、発生、発達する事になる。上述のように、この時点・地点で、方向の相反する二つの猛烈に発達した沿岸流が発生するが、北東から南西へ向う沿岸流がやや優勢に作用して、9月28日の接合部のこの地点に多量に堆積している礫成分・粗粒成分が細粒側への分級作用によって、水の流れの下手側の中心部のこの地点に移動し、堆積することで、粗粒成分の粗砂の混合比の頻度を高めたのである。Troughにおいて、今回は、極粗砂・粗砂が88.7%と、主要成分の混合比の頻度の構成で、今回も、同様に、主要成分の混合比の頻度の構成が、72.8%である。しかし、今回は、それを構成する混合比の頻度が低い。この分、礫成分の混合比の頻度が4.5%と、あるいは、中砂の混合比の頻度が18.6%と、それぞれ増加した事が、上述の事情から考えて、頷けるのである。岸側斜面において、今回は、粗砂・中砂が96.5%と、主要成分の混合比の頻度の構成であるが、今回は、細砂が単独で91.1%と、それを構成し、極端に細粒化した。この測線で常道といえるだろう、離岸流の猛烈な発達により、先述のごとく、この地点では、分級作用が最も顕著に行われた事になる。これゆえに、この地点よりも岸側から運ばれて来た、粗粒成分の中砂等は、この地点で混合するが、粗粒側へ分級作用を激しく受け、追上って、Barや沖側斜面に堆積となる。Barにおいて、今回は、粗砂・中砂で81.8%と、主要成分の混合比の頻度の構成で、今回は、中砂・細砂で97.2%と、それを構成している。前回では、水の流れが、沖側からと、あ

るいは横から、離岸流よりも優勢に作用するために、二つの主要成分の混合比の頻度の構成が、この前の地点の岸側斜面のそれと逆転し、細粒化した。一方、今回は、離岸流の猛烈な発達によって、二つの主要成分の混合比の頻度の構成が、前の地点の岸側斜面と比べて、この地点で逆転し、粗粒化した。前回のこの地点に比べて、二つの主要成分の混合比の頻度の構成のうち、二番目の頻度の構成である粗砂が、細砂に入代ったことで、非常に細粒化した。沖側斜面において、今回は、中砂・細砂が90.4%と、主要成分の混合比の頻度の構成であるが、今回も同じく、中砂・細砂が97.1%と、その構成である。しかし、二つの主要成分の混合比の頻度の構成で、今回は粗粒側の混合比の頻度が前回に比べて高い。

弧状沿岸砂州接合部（Fig.13）において、Nearshore (f)では、Mdφが、-3.2φの中礫を5.2%、-1.8φの小礫を8.7%、-0.5φの極粗砂を14.0%、0.7φの粗砂を23.3%、1.7φの中砂を34.4%、2.7φの細砂を4.6%で、それぞれ構成する。極深部(g)では、Mdφが、1.4φの中砂を5.1%、2.1~2.7φの細砂を93.7%、3.2φの微砂を1.1%で、それぞれ構成している。岸側斜面(h)では、Mdφが、1.0φの中砂を0.4%、2.1~2.8φの細砂を90.5%、3.1φの微砂を9.1%で、それぞれ構成する。極浅部(i)では、Mdφが、1.2~2.0φの中砂を72.8%、2.8φの細砂を24.6%、3.0φの微砂を2.5%で、それぞれ構成している。沖側斜面(j)では、Mdφが、1.2~1.9φの中砂を78.8%、2.7φの細砂を19.7%、3.1φの微砂を1.4%で、それぞれ構成する。

この測線では、先述のごとく、Fig.3とFig.4を比べて、3月6日から9月28日の期間に、約50m程、北東側へ移動したことになる。これは、夏季ではあるが、南西から北東へ向って強烈な沿岸流が発生し、砂・礫を運んだ事は明白である。また、今回のNearshoreと中心部のTroughの両地点で、礫成分が、約19.2%、約4.5%とそれぞれ、混合比の頻度を構成しているのが気になる。これは、夏季には毎日のように北寄りから、あるいは北東からの風が吹く。最大風速は、10m/s前後で、そんなに強風にはならない。その他、いろいろな条件が加わって、北東から南西へ向って、沿岸流が発生、発達する。この沿岸流の上手側に離岸堤が既設してあって、汀線とこれとの間が、ちょうど水路の様になって、猛烈に発達する事になる。この沿岸流のさらに上手側に位置する、礫成分の供給源の米山を源流とした河川がいくつかある。これらの河川から流出した礫成分は、前述のように、2つの方向からの風と、その他いろいろな要因によって発生する、北東から南西へ向う沿岸流に乗って、ゆっくりと運ばれることになる。その移動の途中で

位置する、上下浜海岸のNearshoreに多量、滞留している（内山，2004）。特に、弧状沿岸砂州接合部のその地点で、正規分布集団の構成の頻度が高い。このようにして、移動して来た礫成分は、今回の砂州中心部と接合部のNearshoreに堆積し、混合する。そこで、今度は、先述のように、夏季においても、西からの強風が数回と、その他のいろいろな条件により、南西から北東へ向う沿岸流が発生し、人工リーフ付近では、猛烈に発達する事になる。これに、ともなう、砂州中心部における、離岸流が発生・発達する。よって、Nearshoreに堆積し、混合していた礫成分は、分級作用を受けながら、Troughに移動して堆積・混合する。それゆえに、Nearshoreには、礫成分の正規分布集団の構成が皆無となる。一方、砂州接合部のこの地点では、沖へ向う水の流れがないため、Nearshoreに滞留し、混合する事になる。強いて言えば、若干、北東側へ押し戻されるのだろうか。

ここで、この測線の各地点において、前回の3月6日と比較しながら論述する。Nearshoreにおいて、前回は、中砂の単独で73.3%と、主要成分の混合比の頻度の構成で、今回は、粗砂・中砂で57.7%と、それを構成している。極深部において、前回は、細砂単独で96.7%と、主要成分の混合比の頻度を構成しているが、今回も同じく、細砂で93.7%と、それを構成する。しかし、前回と比べて、二番目に混合比の頻度の高い成分の微砂が、中砂に入代っている。これは、前述の事と合せて、南西から北東へ向う沿岸流が、細砂において、粗粒側に分級作用を施して、追上ってこの地点に堆積し、混合したのであろう。岸側斜面において、前回は、中砂・細砂で99.8%と、主要成分の混合比の頻度の構成で、しかも、二つの主要成分の構成のうち、粗粒側の中砂で79.0%と、混合比の頻度が高い。今回は、細砂・微砂で99.5%と、それを構成する。つまり、混合比の頻度の構成が前回と比べて、今回は、細粒成分のそれが圧倒的に高い。沖側から、あるいは横から、水の流れの作用を受けた事と、先述のように、この地点では、一番、分級作用が顕著なために、このような頻度の構成となろう。極浅部において、前回は、細砂・微砂で95.0%と、主要成分の混合比の頻度を構成する。今回は、中砂・細砂で97.5%と、それを構成する。今回は、粗粒側の中砂のそれを構成する頻度が圧倒的に高い。これは、前回のこの測線で、ひとつ前の地点の岸側斜面では、中砂が主要成分を高い頻度で構成している事から、この成分が移動したのではないか。つまり、今回は、この地点が若干沖側へ、また約50m程北東側へ移動している事からして、前述の

事が言えるのである。沖側斜面において、前回は、中砂・細砂で96.6%と、主要成分の混合比の頻度を構成しているが、今回も、中砂・細砂で98.6%と、それを構成する。いずれも、粗粒側の中砂が、68～78%と、混合比を構成する頻度が圧倒的に高い。これは、前の地点と同様な事が言えるが、それに加えて、今回の砂州中心部のBarと沖側斜面で、中砂の混合比の頻度が高い事から、沿岸流が、この地点を回り込むようにして、二つの地点から、この砂を運んで来たように思える。

#### 4. 海岸砂丘砂と内陸に堆積している新砂丘砂

海岸砂丘砂は、海浜の後浜基部に形成している新砂丘砂である。潟町砂丘とあって、4層に分れているうちの最上位の新砂丘砂で、これが、土砂供給の遮断された今、密接に関与している。この地層の成因は、冬季に到来するきびしい季節風が、汀線の後退した海岸から砂・礫を運んで、堆積したものと言われている。また、この成因の時期は、縄文前期～鎌倉時代以後ではないかと言われている。この事から、海岸線近くは地層が厚く、粗粒な傾向がある。一方、内陸では、地層が薄く、細粒な傾向を示す（内山，2002）。

海岸砂丘砂は、観測栈橋のすぐ後部に形成されている新砂丘砂で、これが海へ流出しているのが、明白である。構成正規分布集団の解析（Fig. 14）によると、Mdφが、 $-1.1\phi$ の小礫を1.8%、 $-0.1\phi$ の極粗砂を38.0%、 $0.6\phi$ の粗砂を44.8%、 $1.6\phi$ の中砂を14.3%、 $2.7\phi$ の細砂を0.7%で、それぞれ構成する。一方、内陸に堆積の新砂丘砂（Fig. 16：観測栈橋より南東側の内陸）では、Mdφが、 $-0.3\phi$ の極粗砂を5.1%、 $0.7\phi$ の粗砂を42.5%、 $1.6\phi$ の中砂を40.5%、 $2.6\phi$ の細砂を8.8%で、それぞれ構成している。ヒストグラム（Fig. 15）において、粗砂、中砂にそれぞれモードを示し、二峰分布になっているが、実際には、極粗砂・粗砂で主要成分を組成し、粗砂の方が混合比の頻度が高い。一方、内陸に堆積の新砂丘砂のヒストグラム（Fig. 17）をみると、粗砂、中砂にモードを示し、明瞭な二峰分布である。中砂の方が、粒度組成の混合比の頻度が高い。観測栈橋後部に形成の海岸砂丘砂と上下浜の海岸砂丘砂（内山，2004）の正規分布集団の構成をそれぞれ比べてみると、両方とも、極粗砂・粗砂で主要成分の混合比の頻度を構成しているが、前者が細粒側の粗砂で、後者が粗粒側の極粗粒で、それを構成する混合比の頻度がそれぞれ高い。この事から、明らかに、

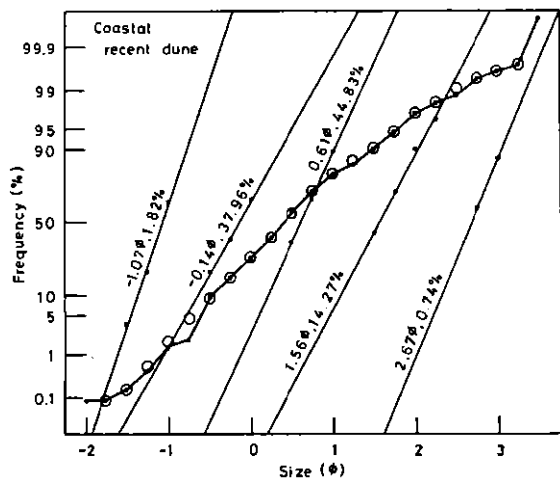


Fig.14 Cumulative probability curve and constituent subpopulations derived by partitioning from the curve. Circles are the cumulative plots constructed from the partitioned constituent subpopulations, on the coastal recent dune

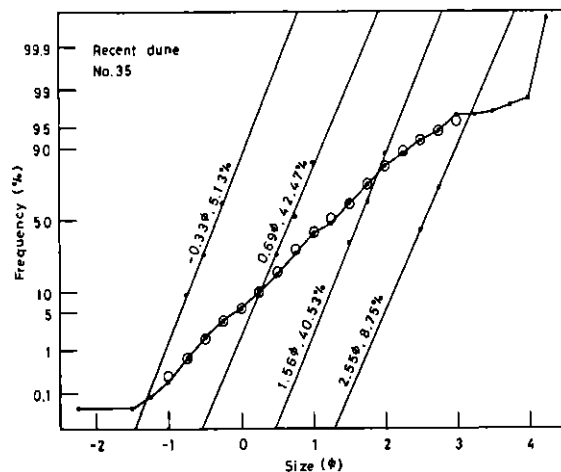


Fig.16 Cumulative probability curve and constituent subpopulations derived by partitioning from the curve. Circles are the cumulative plots constructed from the partitioned constituent subpopulations, on the recent dune

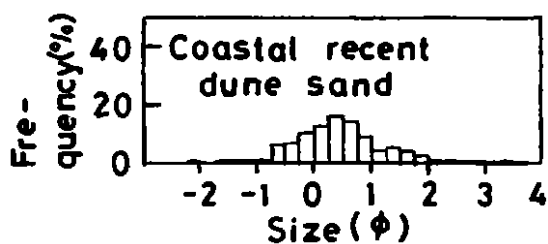


Fig.15 An example of grain size distribution of the coastal recent dune.

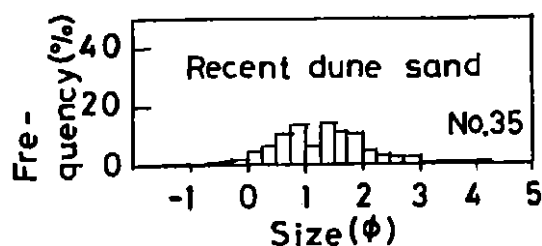


Fig.17 An example of grain size distribution of the recent dune.

潟町、四ツ屋浜近辺は、上下浜に比べて、北西の季節風が強く吹いて、粗粒成分の小礫、極粗砂を遠くへ運んだのではないかと推測される。これにより、観測栈橋後部の海岸砂丘砂で、粗粒成分に比べて多量に細粒成分が残留し、粒度組成の混合比の頻度を細粒側に高くしている。

## 5. 結語

自然の節理に従って、あらゆる事象はバランスをとりながら、常に動いている。針の穴くらいの微小な、バランスのくずれから始まり、不安定化が進んで行って、人間生活の営みに拘るようになると、自然災害に到達ということになる。すべて、観測・調査は、人の手で行った。深淺測量や海底底質の採取は、栈橋の上で行った。その際、5kgの重りが海底に到達する間際に、急激に流される状況から、水の流れの方向と強さが、大体、把握できた。また、今回

のように、船上からの海底底質の採取は、大変な作業であった。この粒度分析においても、変質するのを防ぐために、陰干しで、自然乾燥し、均質に処理して、1/4φの標準フルイを用いて、高精度で、丁寧に行った。図面に関しても、人の手で描いていることから、描画中に海水、底質の動きを熟考しながら描いた。これらを考察するに当たっては、いろいろな分野の知識を頭に置きながら、研究に焦点を当てて、考察・熟考した。このような姿勢からして、真実に限りなく近い知見が得られたのではないかと推測される。また、自信のある論述ができたのである。

### (1) 沿岸流、離岸流

栈橋の南西側に人工リーフ、北東側に離岸堤と、それぞれ既設されている。この二つの人工構造物の中間に観測栈橋がある。栈橋を半円の弧で囲むように、弧状沿岸砂州が発達している。沿岸砂州の移動やそれぞれの地点での粒度組成から考察して、変則的な水の流れをしている事がわかった。

冬季には、北西からの季節風が強く吹き、これに

従って、波向、波高が決まってくる。そこで、冬季における風向を調べたところ、どうも近頃では、北西からよりも、真北に近い方向からの頻度が高いようだ。この他、いろいろな条件が加わって、北東から南西へ向う沿岸流が発生し、そのうえ、その上手側にいくつかの離岸流が水路のような役目を担って、猛烈に発達する。この沿岸流が、南西から北東へ向うそれよりも優勢に作用することになる。一方、夏季においては、毎日のように、真北から、あるいは北東からの風が吹いて、最大風速も10m/s前後である。その他、いろいろな条件も加わって、北東から南西へ向う沿岸流が発生する事になる。この夏季のうちで数回だが、西からの風が吹く場合がある。特に、秋に近くなった頃に、回数も多くなるとともに、風速も15~20m/sにもなる。この事と、その他いろいろな条件が加わって、南西から北東へ向う沿岸流が発生することとなる。この沿岸流の上手側に人工リーフが、いくつか既設してあって、水路のような役目を果たすることになる。この箇所では、猛烈に発達し、弧状沿岸砂州中心部では、離岸流との方向ベクトルの合成も行われる。この沿岸流が北東から南西へ向うそれよりも優勢に作用する事になる。

弧状沿岸砂州中心部での離岸流は、常時発生している。2003年頃、汀線付近に波消しブロックが施設してあり、これに当り、反射して、もどり水として海底を沖へ流れ下る。また、発達する機会が増加したといえる。

上述の事情のもとで、砂・礫を動かし、弧状沿岸砂州をも移動させている事が明確になったといえる。

## (2) $Md\phi$ と $\sigma\phi$ 、 $\alpha\phi$ の相関関係

弧状沿岸砂州中心部は岸側から、接合部は沖側からのそれぞれ水の流れの関与を反映して、粒度組成の主要成分を示す、各区分の点は粗粒側、および細粒側に位置している傾向がある。

$Md\phi$  と  $\sigma\phi$  の関係で、粒径が細粒化に進むにつれて、分級作用も顕著に行われる傾向を示す。要は、右肩下りの負の相関関係を示している。

$\alpha\phi$  との関係で、主要成分を細粒成分で組成しているものについては、負あるいは粗粒側にシフトして、また、その逆転の立場となる傾向のようだ。つまり、シフトする側の方へ向って、分級作用を受けるといっかこうだ。

上述の二つの相関関係から、 $\sigma\phi$  とは、主要成分の組成に従って、分級作用の度合をみることができる。 $\alpha\phi$  とは、分級作用の度合に従って、どちらかシフトした側へ分級作用が進む事が、傾向として明瞭になった。

## (3) 海岸砂丘砂

直江津港防波堤の延伸による、水の流れの変動と

ともに、関川からの土砂の供給の遮断が常になった。このことから、直江津港から北東側に位置する海岸において、土砂収支のバランスがくずれ、指数関数的に海岸侵食がおこってきた。海浜の後浜基部に形成する海岸砂丘砂（潟町砂丘で最上位の新砂丘砂）が、大きな波により削り取られて、海へ流出していることは、明白である。

海岸砂丘砂は、 $Md\phi$  が、 $-0.1\phi$ 、 $0.6\phi$  の極粗砂・粗砂が82.8%と、主要成分の混合比の頻度の構成をしている（Fig. 14）。弧状沿岸砂州中心部のTroughでは、主要成分の混合比の頻度の構成がやや類似しているが、しかし、細粒側の頻度が高い。このことからして、海へ流出した海岸砂丘砂は、中心部において、Nearshoreに滞留し、分級作用を受けながら、離岸流によって沖へ運ばれることになる。その他の地点では、中砂が主要成分の混合比の頻度を構成する一対をなし、場合によっては頻度の高い構成で、堆積となる。また、接合部では、中心部より全体的に水深が浅いため、横から、および沖側から、分級作用を受けながら追上って堆積することになる。全地点において、中砂・細砂が主要成分の混合比の頻度の構成であるが、一段と分級作用を受けたことがわかる。上述のごとく、海岸砂丘砂が弧状沿岸砂州中心部を核にして、多量に堆積していることに確証を得た。

## (4) 礫成分の堆積過程

大瀧海岸では、土砂の供給遮断とともに、礫成分においても、同様な現象がおきている。以前は、糸魚川で、いくつかの河川から、多量の礫成分が海へ流出し、南西から北東へ向う沿岸流によって運ばれて来て、海浜、Nearshore、Trough、極深部の各地点に堆積していたのが、底質採取の際に確認できた。しかし、近頃では、直江津港から棧橋付近までの海底には、ほとんど見られなくなった。むろん、海浜は侵食でなくなっている。

上述の事柄を踏まえて、今回、海底底質の粒度分析をし、解析して、わかった。本論でも論述したが、米山地区には、米山を源流とするいくつかの河川から、海へ流出した礫成分は、北東から南西へ向う沿岸流によって運ばれて来ることがわかった。それも、主に夏季に集中していて、特に、夏季の終り頃の8、9月頃が顕著である。

上述の確証を得た実体はというと、今回で、礫成分の堆積がみられるのは、2005年3月6日の弧状沿岸砂州中心部のTrough（Fig. 10-b）である。それは、 $Md\phi$  が、 $-1.2\phi$  の小礫を2.5%と、混合比の頻度の構成であることがわかる。つまり、冬季に、礫成分は皆無といってよい程、運ばれて来る事はない。一方、夏季にあたる、2005年9月28日の弧状沿岸砂州中

心部のTrough (Fig.12-b), 接合部のNearshore (Fig.13-f) に少量ながら堆積している。それは前者 (Fig.12-b) で,  $Md\phi$  が  $-2.5\phi$ ,  $-1.4\phi$  の中礫・小礫を4.5%, 後者 (Fig.13-f) で,  $Md\phi$  が  $-3.2\phi$ ,  $-1.8\phi$  の中礫・小礫を13.9%と, それぞれ混合比の頻度の構成をしている。

上述の事からまとめると, 次のようなシナリオが考えられる。米山地区において, いくつかの河川から礫成分が海へ流出する。夏季の始めの頃で, 沿岸流の北東から南西へ向う水の流れによって, 発達しない段階なので, ゆっくりと南西へ向って運ばれる。栈橋近辺の海岸に来るまでの余中の上下浜海岸 (2001年8, 9月) (内山, 2004) のNearshore, Trough, 極深部に多量の堆積がみられる。上下浜海岸と栈橋近辺の海岸の間には, いくつかの離岸堤が既設のため, 猛烈に発達した沿岸流が上下浜海岸に堆積の礫成分を運ぶ。よって, 今回の砂州中心部と接合部のNearshoreに堆積する。今度は, 数回の西からの強風, とその他いろいろな要因によって発生する, 南西から北東へ向う, そして, 人工リーフにより猛烈に発達した沿岸流によって, 砂州接合部ではNearshoreに滞留しながら, そのもの自体が約50m程北東へ移動。また, 砂州中心部では離岸流によって, Troughへ移動となる。以上が, 真実に限りなく近い実情ではないか。

#### (5) 移動限界水深

Fig.5, 6, 7, 8で, 近似計算による各パラメータは, 水深9.0m (Offshore) あたりから安定してくる。また, 構成正規分布集団の解析でも,  $Md\phi$  が2.7~3.0 $\phi$ の微砂に極めて近い細砂で, 90%前後の混合比の頻度の構成となる。よって, どこから考察しても, 安定してくるため, 水深9.0m (Offshore) が移動限界水深といえる。

以上の事から, 総合的に結論を言うと, 他のどの箇所よりも先行して, 変則的な, 不穏な動きが, 水深9.0m (Offshore) より岸側の海底で, 海岸侵食の前兆として始まるということである。この事により,

今後の課題として, 今まで, 海岸に既設の人工構造物の見直しと, 鶴の浜から北東側の海岸で, 水深9.0m (Offshore) より岸側の海底を注視して行く必要があるのではないだろうか。

#### 参考文献

- 荒巻 孚 (1971) : 海岸, 犀書房, pp.1-404.  
井口正男 (1975) : 漂砂と流砂の水理学, 古今書院, pp.79-122.  
内山 清 (2001) : 海底底質と海浜底質の粒度組成—栈橋に沿った海底底質とビーチカスプにおける海浜底質—, 京都大学防災研究所年報, 第44号B-2, pp.361-374.  
内山 清 (2002) : 栈橋に沿った海底底質と上下浜での海底底質の粒度組成—両者の粒度組成による差異—, 京都大学防災研究所年報, 第45号B, pp.467-478.  
内山 清 (2003) : 大潟海岸・上下浜における海底底質の粒度組成—ビーチカスプの性質と粒度組成との関係—, 京都大学防災研究所年報, 第46号B, pp.637-649.  
内山 清 (2004) : 大潟海岸・上下浜における海底地形と海底底質の粒度組成—海底地形の変形と海底底質の粒度組成の岸沖方向変異—, 京都大学防災研究所年報, 第47号B, pp.641-663.  
内山 清 (2005) : 観測栈橋近傍の海底地形と海底底質の粒度組成の変化, 京都大学防災研究所年報, 第48号B, pp.775-792.  
大森晶衛・星野通平・茂木昭夫 (1970) : 浅海地質学, 東海大出版会.  
早津賢二・新井房夫・白井 亨 (1982) : 新潟県高田平野の中位段丘と古砂丘—形成時代についての火山灰編年学的考察—, 地学雑誌, pp.1-16.

**The Profile of the Sea Bottom and the Grain Size Composition of the Sediment on the  
Sea Bottom, around Neighborhood the Observational Pier**  
— **The Change of Both the Profile of the Sea Bottom and the Grain Size Composition  
of the Sediment on the Sea Bottom, from Shoreline to Offshore** —

Kiyoshi UCHIYAMA

**Synopsis**

The observation pier which belongs to DPRI., Kyoto Univ. is located at the center of Ogata coast, Japan. A crescent-shaped bar exists off the observation pier, and its shape is like an arc of a half circle. In order to investigate the temporal change of the position of the bar, the author has carried out the field observations on March 6th and September 28th in 2005. The field observations include depth sounding and sediment collection. The depth sounding has been conducted on 3 measurement lines, and some sediment samples have been taken from the sea bottom at 1m deep interval on the same measurement sections of the depth sounding. As a result, it is found that the change of bottom profile and grain size composition in cross-shore direction have considerable magnitude during the observation period. The correlation between sediment of the sea bottom and adjacent coastal dune is also shown in this paper.

**Keywords:** crescent-shaped bar, rip current, littoral current, sorting function, natural point