

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 ——

内山 清

要 旨

大潟海岸において、自然海岸である上下浜で、深淺測量と海底底質採取を、2001年8月6日、2002年9月20日、2003年8月23日、2003年10月7日に行った。深淺測量は、1日に、汀線から沖へ約200mの地点を汀線に沿った1測線と岸沖方向の2測線を行った。また、海底底質採取は、岸から沖へ水深1mごとに、2測線の弧状沿岸砂州中心部、接合部（深淺測量も同様）で行った。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、冬季にそれぞれ最も顕著であることが示された。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，ニアショア，トラフ，バー，外浜，海岸砂丘砂

1. 緒 言

大潟海岸は、上越市郷津から柏崎米山に至る全長約27kmの砂礫海岸である。大潟波浪観測所の観測栈橋は、この海岸線のほぼ中央に位置している。近年、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、栈橋近傍では海岸侵食が顕著で、このため、海浜が消滅し、また、海底底質が、ただならぬ変異を示すようになった。唯一、自然の節理に従って、バランスを保っているのが、観測栈橋より北東へ約2.5km行った柿崎町上下浜海岸（Fig.1）である。そこで、今年の、ここでの海浜地形と海浜底質の粒度組成の考察に続いて、今回は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をする。とくに、汀線から沖へ約200mの地点を汀線に沿って測量した海底地形と岸沖方向の海底地形の相関関係、それに、海底底質の粒度組成の岸沖方向変異がどのように関係してくるか、興味があるところである。これらのことに、海岸砂丘砂がどのような寄与の仕方をするか、しっかりと考察することだ。上述のことを確実に実行することが、海岸侵食の原

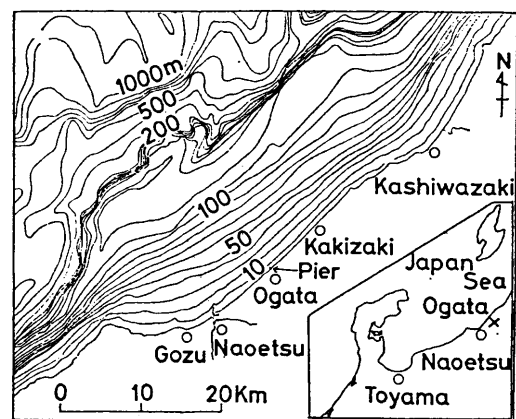


Fig.1 Positional topography of Ogata's coast.

因解明に資するものと考えている。

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は、（Fig. 2）の①に示すように、汀線から沖へ約200mの地点をSWからNEの方向へ、汀線に沿って深淺測量を行った海底地形で

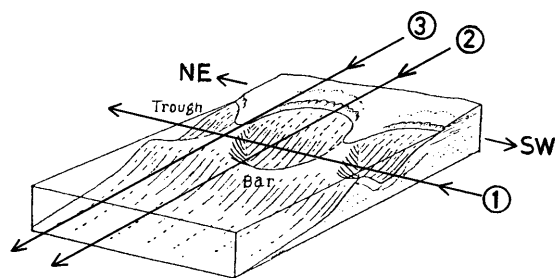


Fig.2 The measuring lines and the model graph, on the crescent-shaped bar.

ある。冬季には季節風が強く吹いて、波の高い日が毎日のように続くため、船での測量ができない。そこで、冬季以外で、今回は、2001年8月6日、2002年8月31日、2003年8月23日、2003年10月7日にそれぞれ行った深浅測量の結果を考察する。(Fig.3), (Fig.4), (Fig.5), (Fig.6) の4つの海底地形図において、山は弧状沿岸砂州接合部の極浅部にあたり、谷は弧状沿岸砂州中心部のTroughにあたる。また、海底地形図で山は、海浜でのビーチカスプで大カスプの突出部に、谷は、海浜でのビーチカスプで大カスプの湾入部にそれぞれ対応し、対をなして移動することがわかっている(内山、2003)。海底地形が海浜地形より先行して、変形して移動し、ここでは、北東方向へ移動していることがわかる。自然の節理にもとづいて、いろいろなファクターともバランスのとれた、海岸であり、海底地形であるならば、きれいなSinカーブで表わされて、気持ちのよいリズム的な感じになるくらいの海底地形となるはずである。それが侵食海岸に移行する手前であろうか、変則的な海底地形を示している。

(1) 2001年8月6日の海底地形図(Fig. 3)をみると、定点0から南西へ約770m、約350m、北東へ約70m、約750mの地点にそれぞれ山があり、定点0から南西へ約550m、約100m、北東へ約500mの地点にそれぞれ谷がある。弧状沿岸砂州接合部の極浅部と弧状沿岸砂州中心部のTroughの最大比高は2.5mである。ここで、図には示さないが、2000年8月1日の海底地形図をみると、定点0から北東へ約400mの地点に大きな山があり、北東へ約100m、約600mにそれぞれ谷がある。定点0から南西側は単調に水深6m前後で推移している。こちらの山と谷の最大比高は3.9mである。ここで両者の変異を比較すると、2000年8月1日において、定点0から北東へ約400mの地点にあった山が、2001年8月6日になくなり、谷に変化している。また、2000年8月1日に、定点0より南西側は水深6m前後と単調に推移していたが、2001年8月6日には、山と谷が交互に発生している。

(2) 2002年8月31日の海底地形図(Fig. 4)において、定点0から南西へ約700m、約500m、約250m、北東へ約200m、約700mの地点にそれぞれ山があり、但し、定点0より北東側の山は小さい。定点0から南西へ約630m、約400m、約50m、北東へ約500mにそれぞれ大小の谷がある。弧状沿岸砂州接合部の極浅部と弧状沿岸砂州中心部のTroughの最大比高は3.0mである。ここで、2001年8月6日との変異をみると、定点0から南西へ約350mにあった山が、2002年8月31日に、北東へ約100m移動して発達した。この山のとなり、北東側の谷が、幅を減じ、水深を増し、また、南西側の谷は、幅を増し、中央に小高い山が出現した。つまり、あるひとつの山が顕著に発達し、一年間に、とくに冬季において、50~100m位移動することがわかる。他の山は、あまり発達することなく、50~100m位移動し、谷の部分は、山の部分に追従して変異しながら、微少か、山の場合の半分の程度にとどまるようだ。

(3) 2003年8月23日の海底地形図(Fig. 5)において、定点0から南西へ約750m、約250m、北東へ約450mにそれぞれ山があり、定点0から南西へ約600m、約100m、北東へ約700mにそれぞれ谷がある。山と谷との最大比高は3.5mである。ここで、2002年8月31日の海底地形との変異をみると、定点0から南西側に存在する、山と谷の移動はほとんどなく、全体的に1.0~1.5m位水深を増している。わずかな変形にとどまるようだ。定点0から北東側は、約450~500mにあった谷が、2003年8月23日の海底地形では、顕著に発達した山に変異している。この山のとなり南西側に、前年に形成していた小高い山の名残がある。

(4) 2003年10月7日の海底地形図(Fig. 6)において、この海底地形は、8月23日から約1ヶ月間おいてのものである。9月中に、2~3回位の冬季に来襲の西ないし北西の15~20m風が吹いた。これにより、最大波高が2~3mで、沿岸流、離岸流(リップカレント)が大きなベクトルを示したと思う。このことから、1ヶ月間で、どのように変形するか、差異はどうか、大変興味深いのである。2003年8月23日と10月7日の両者の海底地形において、定点0から南西へ約750m、約250m、北東へ約450mにそれぞれ山があり、これらの山の位置ではあまり変化はないが、微妙に北東へ移動している気がする。定点0から南西へ約500m、約100m、北東へ約700mにそれぞれ谷がある。両者を比較して一番大きな変異は、定点0から南西側の2つの山と1つの谷である。前者では、谷の幅は広く、水深は浅いが、山は頂点の位置がわからず、変則的な型をしている。それが後者になると、山の頂点の位置も、谷の型もはっきりして、きれいなSinカーブ

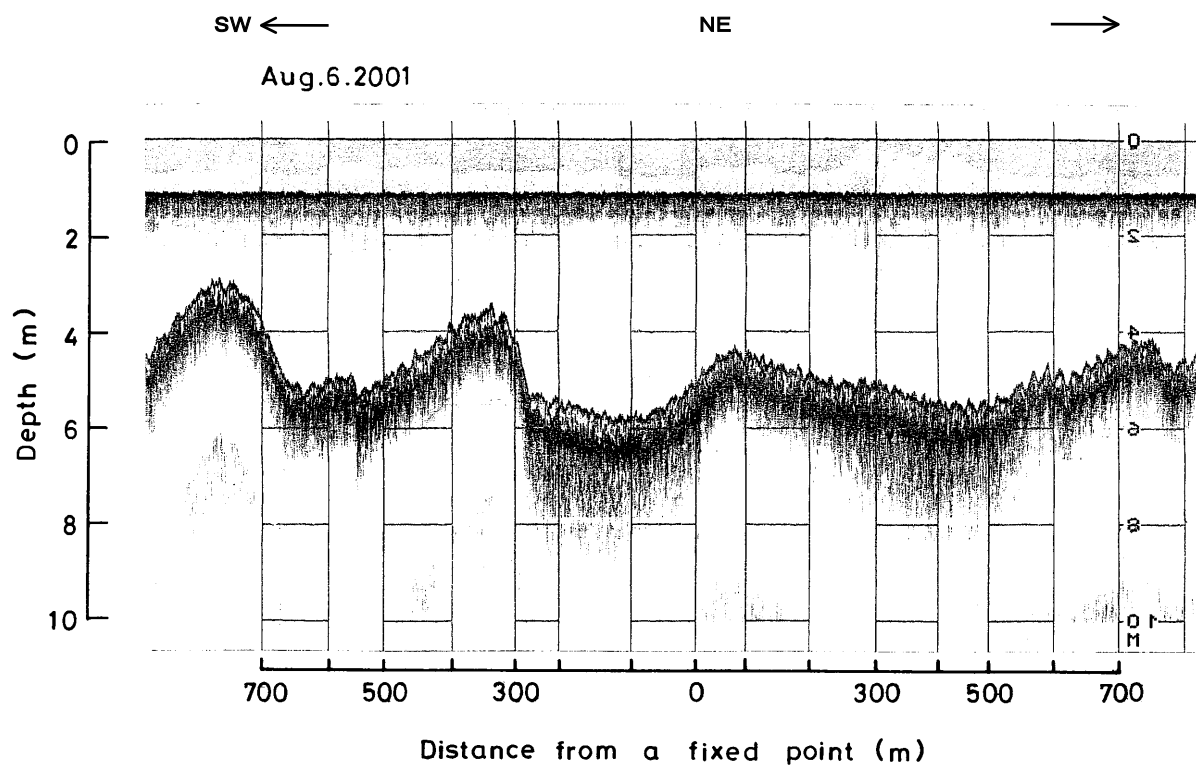


Fig.3 Bottom profile, from south west to north east, 200m offshore along the shoreline, on Aug. 6, 2001.

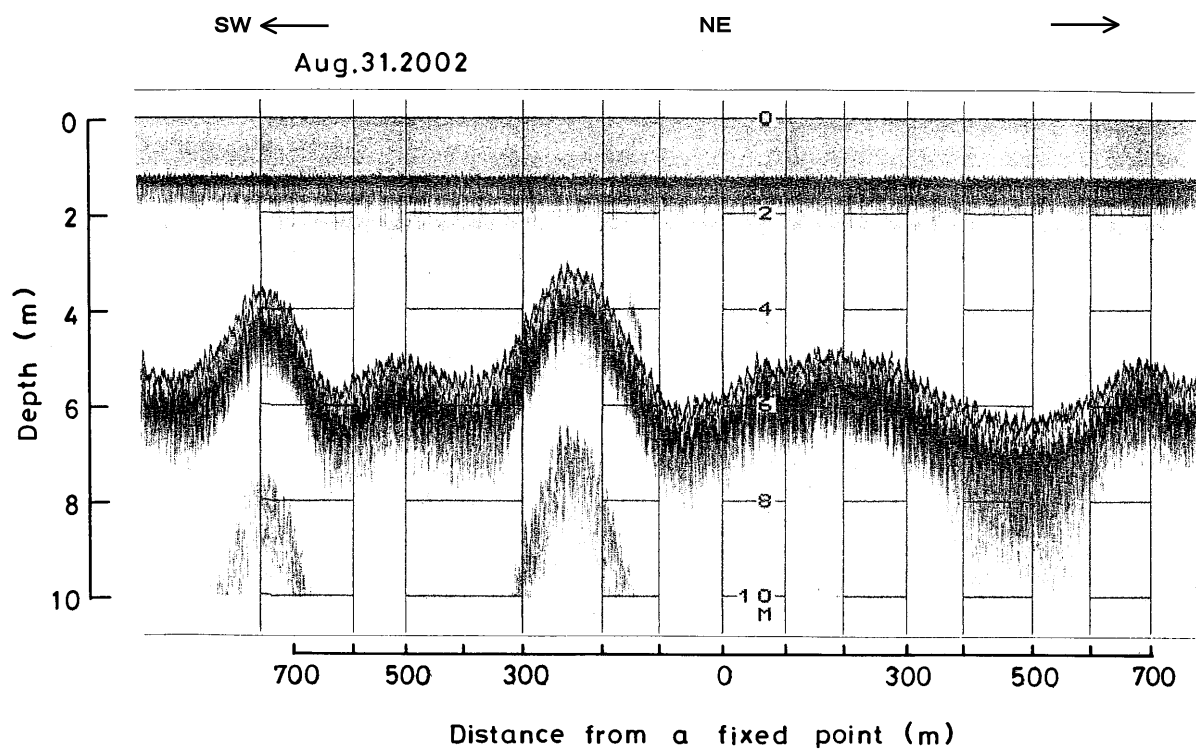


Fig.4 Bottom profile, from south west to north east, 200m offshore along the shoreline, on Aug. 31, 2002.

となる。とくに、谷の部分、つまりTroughでは、1 m 位水深を増しており、多分この部分で侵食されて、両側の側面または沖に位置するBarに堆積したのであろう。これらの現象は、1ヶ月間に2～3回の激しい風

浪といくつかの水の流れが起因していることと思う。

2.2 岸沖方向の海底地形図 (Fig. 2) の②③に示すように、弧状沿岸砂州中心部を、弧状沿岸砂州接合

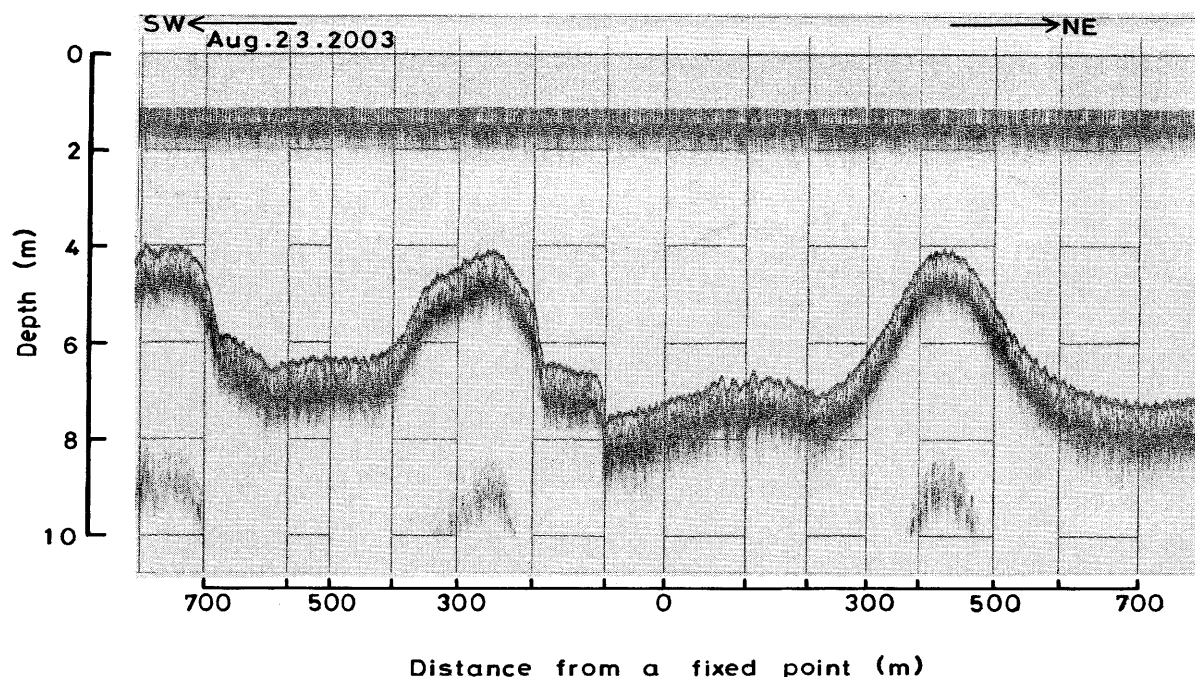


Fig.5 Bottom profile, from south west to north east, 200m offshore along the shoreline, on Aug.23.2003.

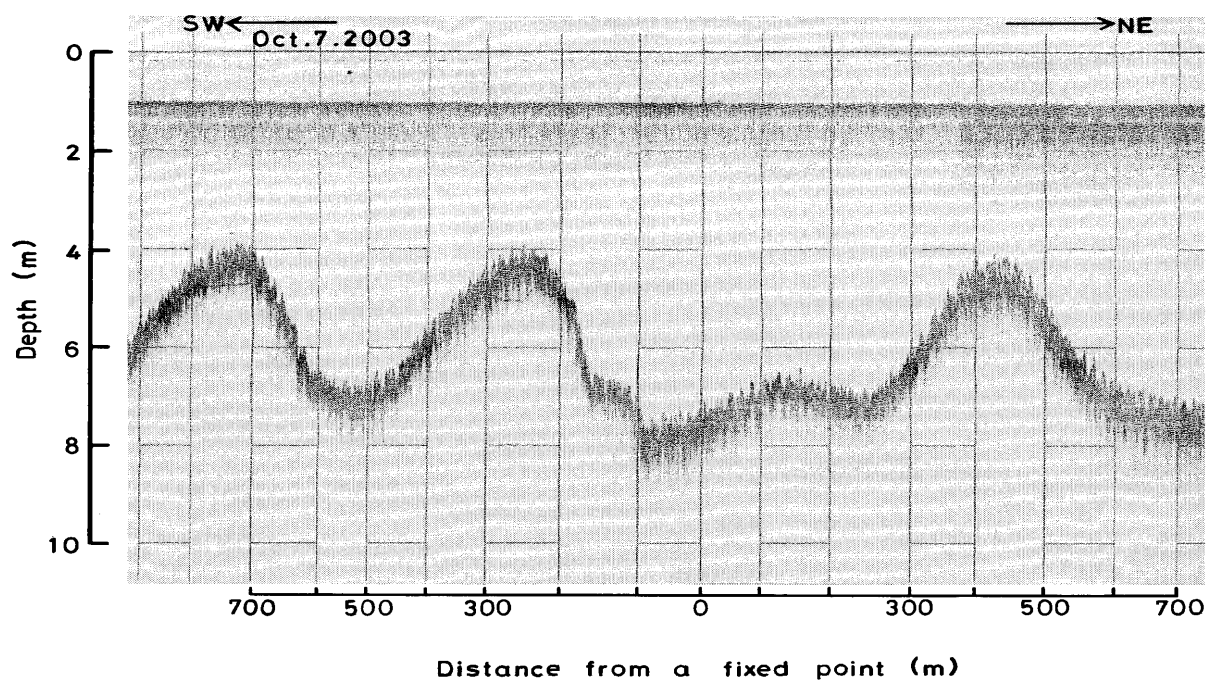


Fig.6 Bottom profile, from south west to north east, 200m offshore along the shoreline, on Oct.7.2003.

部をそれぞれ岸から沖へ深浅測量を行った海底地形である。また、一般に前者をBar型断面形、後者をStep型断面形という。

(1) 2001年8月6日において、Bar型断面形の深浅測量の測線の位置がずれていることがわかる。それは、(Fig.3)で、定点0から南西へ約100mの地点(谷)の水深が6.0mであるのに対して、(Fig.7)のBar型断面形のTroughの水深が6.5mと0.5mの差があり、明らかに、どちらかの測線の位置がちがっている。これら

の事情を踏まえたうえで、Bar型断面形(Fig.7)((Fig.3)で、定点0から南西へ約100mの地点を岸から沖へ深浅測量を行ったもの)をみていくと、汀線から沖へ急激に水深を増し、汀線から沖へ約200m地点付近で、水深が6.0mとなる。ここより、ゆるやかに沖へ深くなっていった、汀線から沖へ約400m地点付近で、水深が6.5mとなり、Troughといえる。Troughから順次沖へ向って浅くなり、汀線から沖へ約500m地点付近でBarの頂点に達する。この頂点の水深が5.4mである。

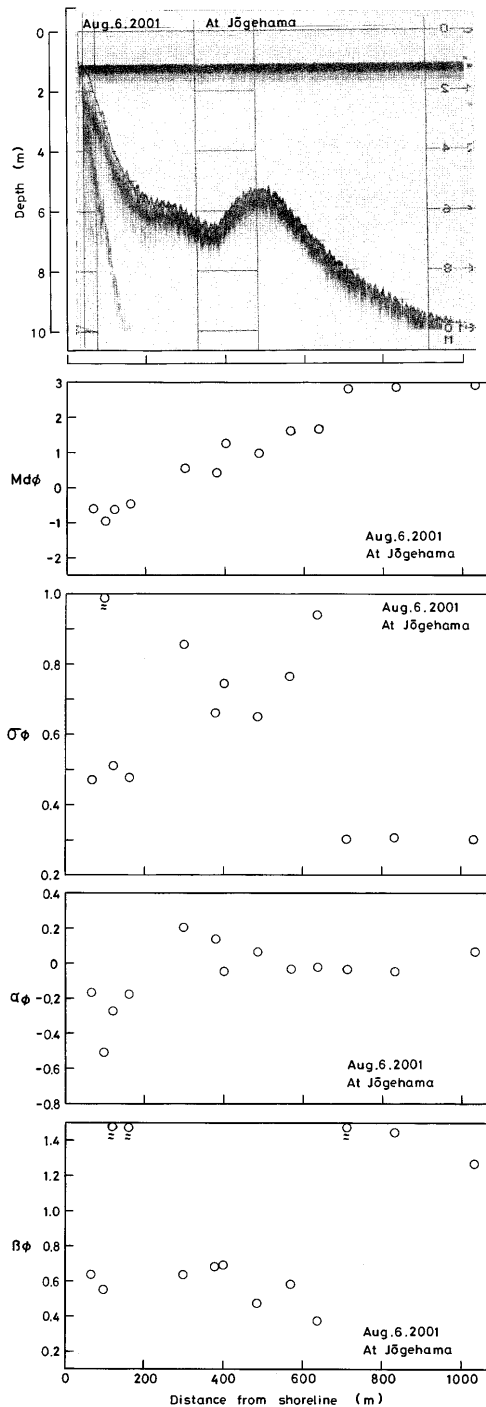


Fig.7 At the central measuring line on the crescent-shaped bar, on Aug.6.2001.

また、TroughとBarの頂点との間の斜面を弧状沿岸砂州岸側斜面という。Barの頂点から沖は、なだらかに水深が深くなっていった、Offshoreとなる。また、Barの頂点から沖へなだらかに下る斜面を弧状沿岸砂州沖側斜面といって、移動限界水深（ナチュラルポイント）がOffshoreとの境ではなかろうか。TroughとBarの頂点との比高は1.1mである。

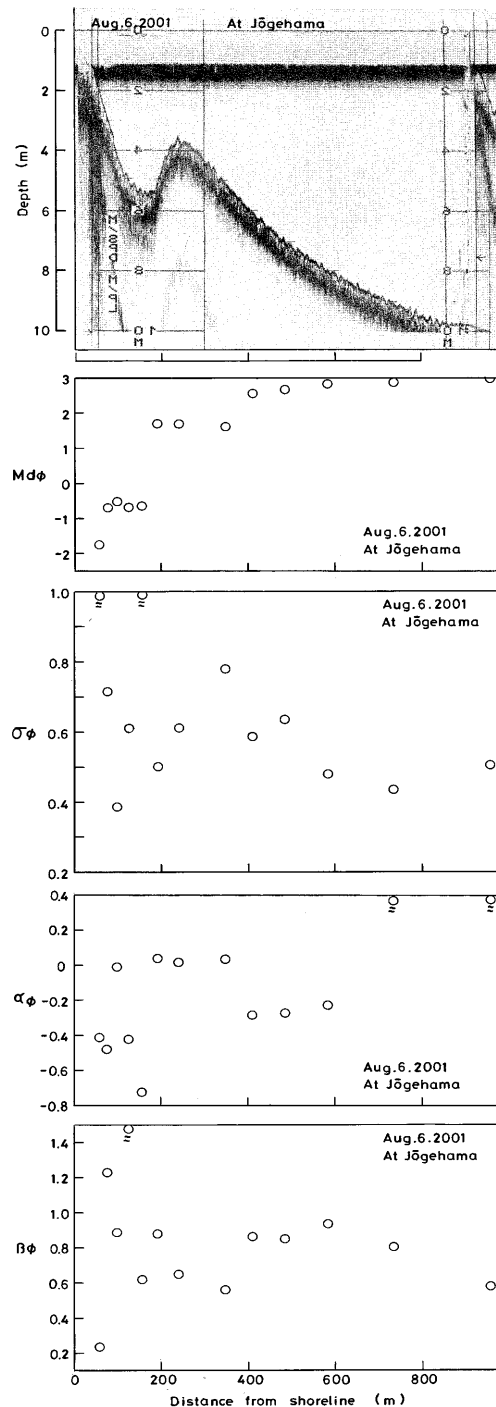


Fig.8 At the jointed measuring line on the crescent-shaped bar, on Aug.6.2001.

一方、Step型断面形（Fig.8）（（Fig.3）で、定点0から南西へ約350mの地点を岸から沖へ深浅測量を行ったもの）をみると、深浅測量の測線の位置が正しいことがわかる。それは、（Fig.3）で、定点0から南西へ約350mの地点が、Step型断面形の測線の位置で、極浅部の水深も一致して3.6mを示す。これらの事情を踏まえてみていくと、汀線から沖へ急勾配を

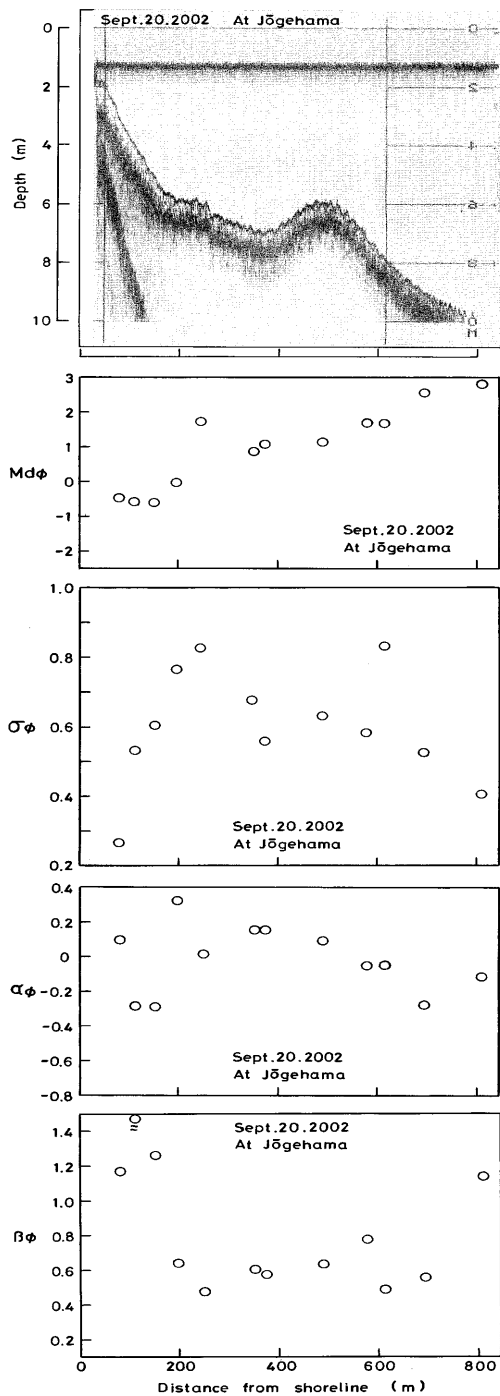


Fig.9 At the central measuring line on the crescent-shaped bar, on Sept.20.2002.

程して水深を増し、一気に極深部に達している。汀線から沖へ約200m地点付近が極深部であって、水深が5.5mを示す。極深部から沖へ急激に水深が浅くなっていて、極浅部に達する。極浅部は、汀線から沖へ約230mの地点付近にあって、水深が3.6mを示す。極浅部から沖へなだらかな勾配で深くなっている。極深部と極浅部の比高は1.9mである。

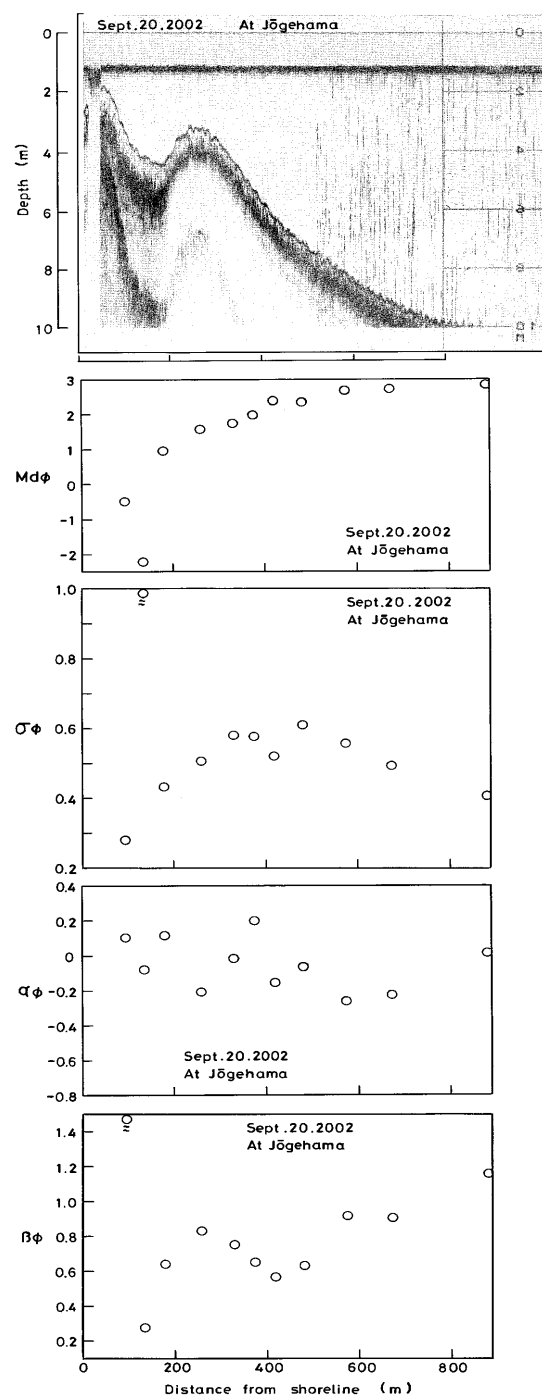


Fig.10 At the jointed measuring line on the crescent-shaped bar, on Sept.20.2002.

(2) 2002年9月20日において、この深浅測量の日、月と、汀線に沿って南西から北東へ深浅測量の日、月とちがっているが、同日に行ったものとして、近似とみなす。Bar型断面形の深浅測量の測線の位置がずれていることがわかる。それは、(Fig.4)で、定点0から南西へ約50mの地点の水深が、6.0mであるのに対して、(Fig.9)のBar型断面形のTroughの水深が

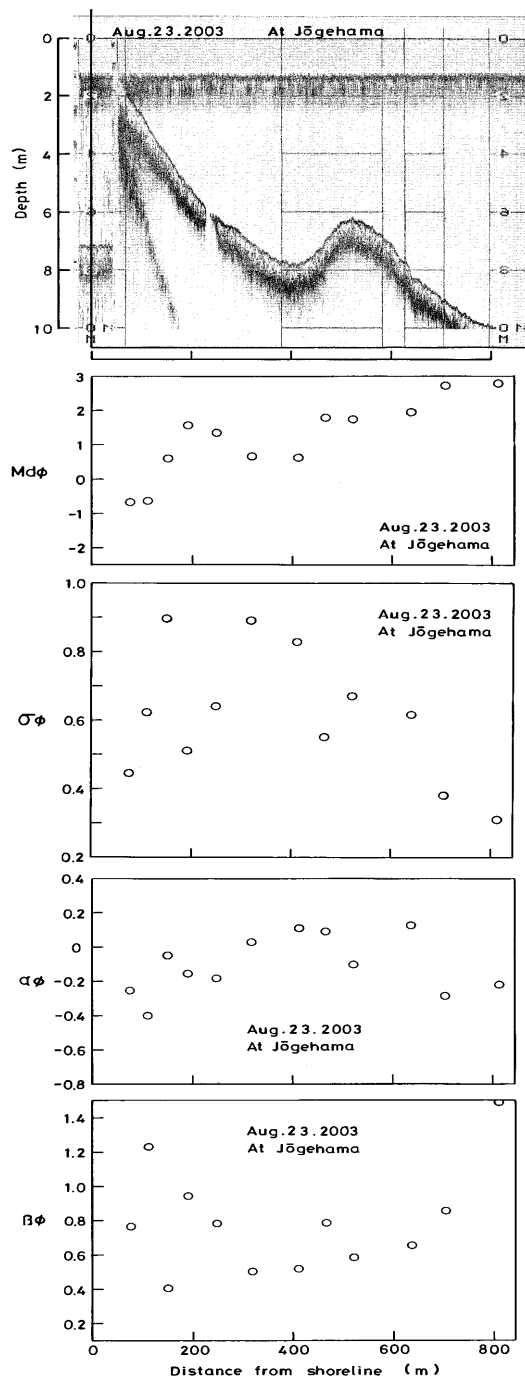


Fig.11 At the central measuring line on the crescent-shaped bar, on Aug.23.2003.

7.0mと、1.0mの差があり、明らかにどちらかの測線の位置がちがっている。これらの事情を踏まえたうえで、Bar型断面形 (Fig.9) (Fig.4) で、定点0から南西へ約50mの地点を岸から沖へ深浅測量を行ったもの) をみると、汀線から沖へ急激に水深を増し、汀線から沖へ約200mの地点付近で、水深が6.0mとなる。この地点より、ゆるやかに沖へ水深が深くな

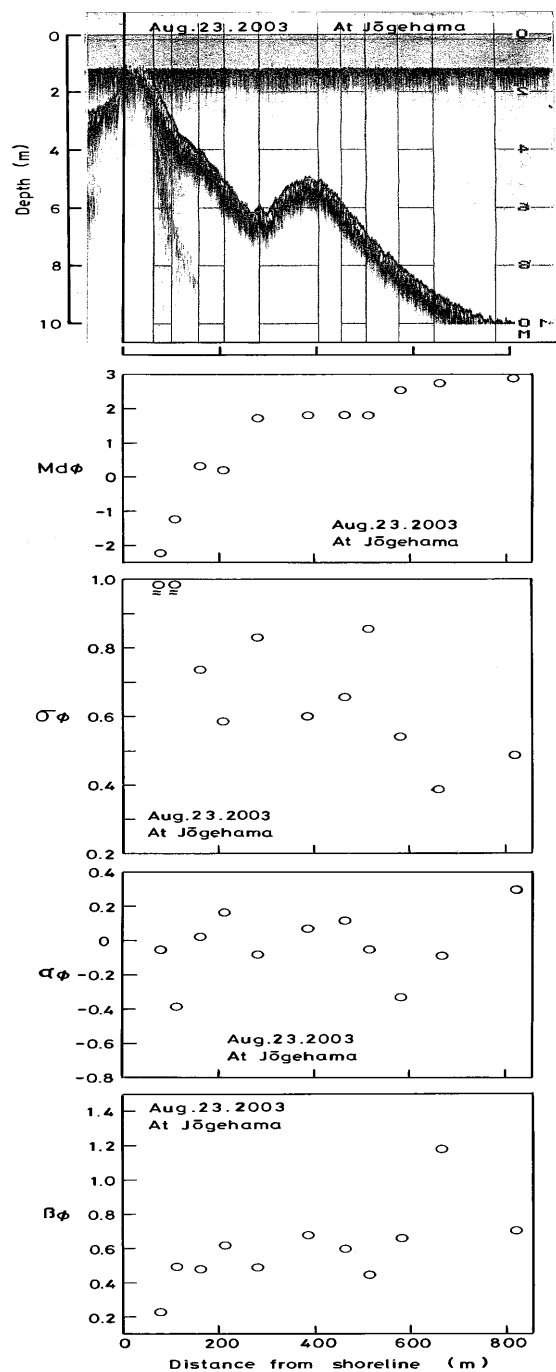


Fig.12 At the jointed measuring line on the crescent-shaped bar, on Aug.23.2003.

って行って、汀線から沖へ約400mの地点付近で、水深が7.0mとなり、Troughといえる。Troughから沖へ、水深が急激に浅くなり、Barの頂点に達する。TroughからBarの頂点までの斜面を弧状沿岸砂州岸側斜面という。また、Barの頂点の水深は6.0mである。Barの頂点から沖へなだらかに水深が深くなって行って、移動限界水深までの斜面を弧状沿岸砂州沖側斜面と

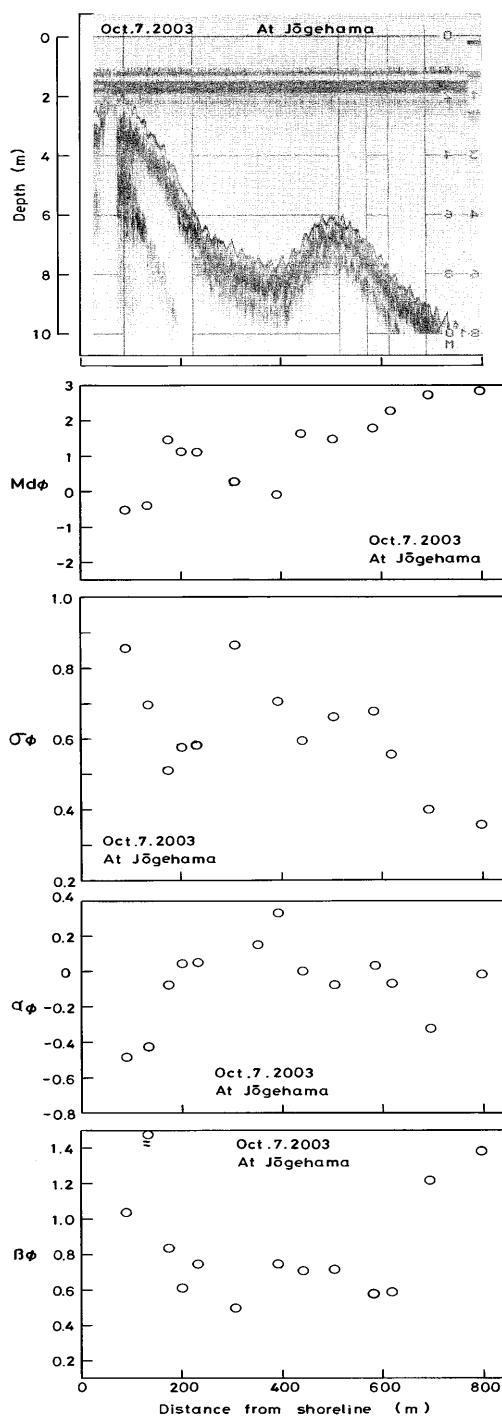


Fig.13 At the central measuring line on the crescent-shaped bar, on Oct.7.2003.

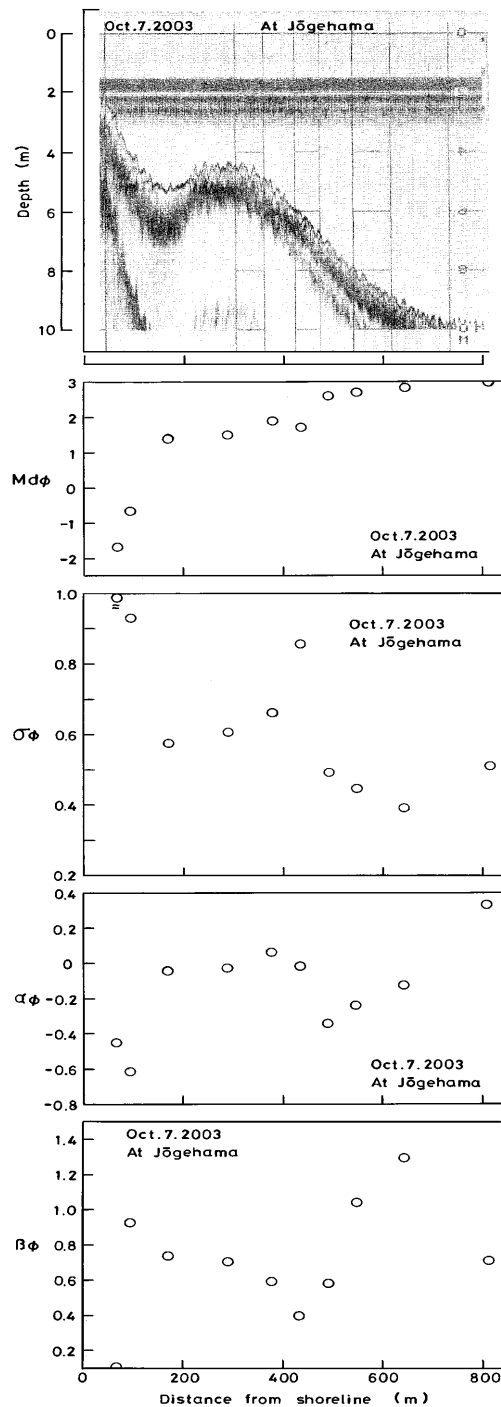


Fig.14 At the jointed measuring line on the crescent-shaped bar, on Oct.7.2003.

Fig.7~Fig.14 Bottom profiles, from shoreline to offshore, and seaward distributions of grain size characteristics of the sediment of the sea bottom, from shoreline to offshore.

いう。この地点より沖はOffshoreとなる。TroughとBarの頂点との比高は1.0mである。

一方、Step型断面形 (Fig.10) ((Fig.4) で、定点0から南西へ約250mの地点を岸から沖へ深浅測量を

行ったもの) をみると、深浅測量の測線の位置が正しいことがわかる。それは、(Fig.4) で、定点0から南西へ約250mの地点が、Step型断面形の測線の位置で、水深も一致して、3.3mを示す。これらの事情を

踏まえてみていくと、汀線から沖へ急勾配を程して、一気に水深が深くなって、極深部に達する。汀線から沖へ約200mの地点付近が極深部で、水深が4.3mである。極深部から沖へ急激に水深が浅くなり極浅部に達する。汀線から沖へ約270mの地点付近が極浅部で水深が3.2mである。極浅部から沖へなだらかに水深が深くなって行って、移動限界水深を通り、Offshoreに達す。極深部と極浅部の比高は1.1mである。

(3) 2003年8月23日と2003年10月7日において、Bar型断面形の2つ (Fig.11), (Fig.13) ((Fig.5), (Fig.6) で、定点0から南西へ約100mの地点を岸から沖へ、それぞれ深浅測量を行ったもの) に示すように、ほぼTroughの水深が合致しており、正しい両測線位置を深浅測量したものだと思う。一方、2つのStep型断面形の深浅測量の位置が少しずれたようだ。それは、(Fig.5), (Fig.6) で、定点0から南西へ約250mの地点の水深と、2つのStep型断面形の極浅部の水深がそれぞれ合致するのが正しい、しかし、Step型断面形の極浅部の水深の方が約0.5~1.0m深くなっていることにある。また、2003年8月23日と2003年10月7日には、1ヶ月間の期間があつて、この間に2~3回、前述のごとく嵐が来襲したことで、この前後の断面形の変形に大変興味を示す。上述の2つの事情を踏まえたうえで、まず、2つのBar型断面形 (Fig.11), (Fig.13) ((Fig.5), (Fig.6) で、定点0から南西へ約100mの地点を岸から沖へ、それぞれ深浅測量したもの) をみると、8月23日では、汀線から沖側へなだらかに水深を増して行って、汀線から沖へ約400mの地点付近でTroughに達する。Troughの水深が7.8mである。Troughから沖へ向って水深が浅くなり (弧状沿岸砂州岸側斜面)、Barの頂点に達する。汀線から沖へ約510mの地点付近にBarの頂点があり、この地点の水深が6.3mである。Barの頂点から沖へ向って、なだらかに水深を増し、余中の移動限界水深を通してOffshoreに達する。Barの頂点から沖側の移動限界水深までの間の斜面を弧状沿岸砂州沖側斜面という。また、TroughとBarの頂点の比高は1.5mである。10月7日では、汀線から沖側へ急激に水深を増して行って、汀線から沖へ約250mの地点付近に達する。この地点からTroughまで、沖側へ向ってなだらかに水深が深くなっている。この部分に少し堆積のあとがみられるようだ。汀線から沖へ約400mの地点付近にTroughがあり、この地点の水深が7.7mである。Troughから、弧状沿岸砂州岸側斜面を沖側へ向って、水深が浅くなって行って、Barの頂点に達する。汀線から沖へ約500mの地点付近にBarの頂点があり、この地点の水深が6.0mである。Barの頂点から沖側へなだらかに水深を増し、弧状沿岸砂州沖側斜面の終点の移動限界水深を通して、Offshore

に達する。TroughとBarの頂点の比高は、1.7mである。

一方、Step型断面形 (Fig.12), (Fig.14) ((Fig.5), (Fig.6) で、定点0から南西へ約250mの地点を岸から沖へ、それぞれ深浅測量したもの) をみると、8月23日では、汀線から沖側へ急激に水深が深くなって行って、極深部に達している。汀線から沖へ約280mの地点付近に極深部があり、その地点の水深が6.0mである。この地点から沖側へ水深が浅くなり、極浅部となる。汀線から沖へ約390mの地点付近に極浅部があり、その地点の水深が5.0mを示す。極浅部から沖側へなだらかに水深を増して行って、Offshoreに達している。極深部と極浅部の比高は1.0mである。10月7日では、汀線から沖側へ急激に水深を増して、極深部に達している。汀線から沖へ約160mの地点付近に極深部があり、その地点の水深が5.3mである。極深部から沖側へ向って水深が浅くなって行き、極浅部に達する。汀線から沖へ約280mの地点付近に極浅部があり、その地点の水深が4.3mである。極浅部から沖側へなだらかに水深が深くなって行ってOffshoreに達する。極深部と極浅部の比高は1.0mである。以上のように、断面図から得られる知見として、冬季以外で単発的に来襲する嵐は、弧状沿岸砂州接合部が海岸すべての個所より先行して変形し、変異する、とともに、堆積傾向に寄与することがわかる。

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、大きな波浪が毎日のようにあるため、船が出せなく、海底底質採取ができない。そこで、今回は、おだやかな日々が続く、冬季以外で、夏季に海底底質採取した試料を用いて解析する。冬季の変化の最中の海底底質よりも、変化後の安定して、固定した海底底質の方がいろいろな面からも都合がよいからである。採取の行った日、月は、2001年8月6日、2002年9月20日、2003年8月23日と10月7日の4回である。試料は、1回につき、弧状沿岸砂州中心部と弧状沿岸砂州接合部の2測線 (深浅測量と同じ測線) で採取した。水深、1mごとに採取を行い、1測線に約10~13個を採泥器によって、一定量採取した。

上述の条件のもとで、一定量採取した試料を自然乾燥し、均質に処理して、1/4 φ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、解析時すべてにおいて、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) 2001年8月6日

弧状沿岸砂州中心部において（Fig.7）， $Md\phi$ は、汀線～汀線から沖へ約200mの地点間で、 $-1.0\sim 0\phi$ の値を示し、極粗砂により組成し、汀線から沖へ約300mの地点～汀線から沖へ約650mの地点間で、 $0\sim 2.0\phi$ の値を示し、粗砂・中砂によって組成している。次に、汀線から沖へ約700mの地点～Offshore間で、 $2.0\sim 3.0\phi$ の値であって、 3.0ϕ にきわめて近い値を示し、細砂によって組成する。汀線から沖へ、順次細粒化していることから、水の流れも岸から沖へのベクトルが大であったことがわかる。多分、冬季におこった粒度組成の岸沖方向変異の名残りであろう。 $\sigma\phi$ は、汀線～汀線から沖へ約200mの地点間で、値が小さく、沿岸流や離岸流が大きく発達して、分級作用が顕著であるといえる。汀線から沖へ約300mの地点～汀線から沖へ約620mの地点間で、値が大きく、淘汰が悪い。つまり、この区間では堆積が行われたと思う。汀線から沖へ約700mの地点～Offshore間で、値がきわめて小さく、淘汰が大変よい。いわゆる、上に凸な放物線のような傾向を示すようだ。 $\alpha\phi$ は、汀線～汀線から沖へ約200mの地点間で、値が負にシフトしていて、汀線から沖へ約300mの地点～Offshore間で、値が0の近傍か、あるいは正にシフトしている。 $\beta\phi$ は、汀線～汀線から沖へ約200mの地点間と汀線から沖へ約700mの地点～Offshore間で、値がきわめて大きい。汀線から沖へ約300mの地点～汀線から沖へ約620mの地点間は値が小さい。つまり、 $\beta\phi$ は、 $\sigma\phi$ と逆相関関係にあるといつてよい。それは、下に凸な放物線を示す傾向のようだ。

弧状沿岸砂州接合部において（Fig.8）， $Md\phi$ は、汀線～汀線から沖へ約200mの地点間で、 $-2.0\sim 0\phi$ の値を示し、大部分が極粗砂によって、また、一部を小礫により組成する。汀線から沖へ約200mの地点～汀線から沖へ約350mの地点間で、 $1.0\sim 2.0\phi$ の値を示し、中砂によって組成している。汀線から沖へ約400mの地点～Offshore間で、 $2.0\sim 3.0\phi$ の値であって、 3.0ϕ にきわめて近い細砂により組成する。全体的な傾向をみると、段階的に汀線から沖へ細粒化していて、沖から岸への水の流れがあったことが、うかがえる。 $\sigma\phi$ は、汀線～汀線から沖へ約200mの地点間で、極大値、あるいは値が大きく、沖へ行くにつれて値が小さく、淘汰がよくなって行っている。つまり、負の相関関係を示すようだ。 $\alpha\phi$ は、大部分の値が、0近傍か、あるいは負にシフトしていて、微量な粗粒成分の存在が、分布曲線の負、または粗粒側に、正、または細粒側に比べて長いtailを有する

ことにより、 $\alpha\phi$ の値をそうさせているのであろう。 $\beta\phi$ は、汀線～汀線から沖へ約200mの地点間で、極大値あるいは大きい値をとり、沖へ行くにつれて、値が小さくなっている。

(2) 2002年9月20日

弧状沿岸砂州中心部において（Fig.9）， $Md\phi$ は、汀線～汀線から沖へ約200mの地点間で、 $-1.0\sim 0\phi$ の値を示し、極粗砂によって組成する。汀線から沖へ約240mの地点～汀線から沖へ約620mの地点間で、 $1.0\sim 2.0\phi$ の値を示して、中砂によって組成している。汀線から沖へ約700mの地点～Offshore間で、 $2.0\sim 3.0\phi$ の値を示して、細砂によって組成する。全体的な傾向として、汀線から沖へ行くにつれて、順次細粒化していることが、また、岸から沖への水の流れが顕著であったことがわかる。 $\sigma\phi$ は、汀線～汀線から沖へ約200mの地点間と汀線から沖へ約600mの地点～Offshore間で値が小さく、淘汰がよい。汀線から沖へ約200mの地点～汀線から沖へ約600mの地点間では、値がやや大きいか、極大値を示して、淘汰が悪い。全体的な傾向として、上に凸な放物線を示すようだ。 $\alpha\phi$ は、汀線～汀線から沖へ約200mの地点間で2点と、汀線から沖へ約500mの地点～Offshore間で値が負にシフトしている。とくにBarの頂点より沖側で値が負にシフトするのは、岸から沖への水の流れによって、粗粒側へ分級作用をうけた微量な粗粒成分が、細粒な微量成分より勝って、分布曲線の正、あるいは細粒側よりも負、あるいは粗粒側にやや長いtailを持つことによる。汀線～汀線から沖へ約500mの地点間で、2点を除いて全部正にシフトしている。 $\beta\phi$ は、前述のように $\sigma\phi$ とは逆相関関係を示していて、汀線から沖へ約400mの地点の前後を極小値として、下に凸な放物線となる。

弧状沿岸砂州接合部において（Fig.10）， $Md\phi$ は、汀線～汀線から沖へ約200mの地点間の1点だけを除いて、汀線から沖へ向って、順次細粒化している。砂州中心部のTrough，Barのそれぞれの地点とちがって、極深部、極浅部のそれぞれの地点は、汀線に近づいているため、汀線から急勾配で細粒化して行っている。汀線から沖へ約360mの地点の極浅部で、また、この地点より沖側斜面の地点で、変換点をもち、細砂に変換している。 $\sigma\phi$ は、汀線～汀線から沖へ約200mの地点間と、汀線から沖へ約600mの地点～Offshore間で値が小さく、淘汰がよく、汀線から沖へ約200mの地点～汀線から沖へ約600mの地点間は値が大きく、淘汰が悪い。 $\alpha\phi$ は、3点のみが正にシフトし、大部分の点が負にシフトしている。これは、夏季に、北からの風により、波や水の流れが高い頻度で発生する。北ないし、北東からの沿岸流が、そ

れらの上手側となりに位置している弧状沿岸砂州中心部のTrough, Barから粗砂・中砂を運んでくるのではない。このため、汀線から沖へ約200mの地点～Offshore間で、粗粒側へ分級作用をうけた微量な粗粒成分が、微量な細粒成分より勝って、分布曲線の負、あるいは粗粒側に、正、あるいは細粒側よりもやや長いtailをもつ。このことが、負の値をもつことに大きく反映しているのである。 $\beta\phi$ は、汀線から沖へ約400mの地点で極小値を示している。汀線～汀線から沖へ約200mの地点間で、2点値が小さい。1点の例外を除いて、左下から右上に値が変化する、正の相関関係を示すような気がする。しかし、 $\sigma\phi$ とは逆相関関係にはなっていない。

(3) 2003年8月23日, 2003年10月7日

ここで、2003年8月23日を前者、10月7日を後者ということにする。前者と後者の間の9月に2～3回の嵐があり、船での試料採取ができなかったのである。西ないし北西からの風が最大で20mとなり、最大波高は2～3mとなった。それゆえに、冬季における大規模な嵐よりも夏季での嵐の前後の粒度組成の岸沖方向変異に大変興味をもったのである。以下、両者で、それぞれのファクターごとに比較しながら考察していきたい。

弧状沿岸砂州中心部において (Fig.11), (Fig.13), $Md\phi$ は、汀線～汀線から沖へ約130mの地点間で、両者とも $-1.0\sim 0\phi$ の値を示し、極粗砂で組成する。汀線から沖へ約130mの地点～汀線から沖へ約250mの地点間は、両者とも $1.0\sim 2.0\phi$ の値を示して、中砂で組成している。しかし、この地点間において、前者で例外の1点のみ $0\sim 1.0\phi$ の値で粗砂となっている。汀線から沖へ約300mの地点～汀線から沖へ約420mの地点間は、前者で、 $0\sim 1.0\phi$ の値を示し、粗砂の組成である。後者のこの地点間で、 $-1.0\sim 1.0\phi$ の値を示し、2点が 0ϕ 近傍に位置しており、極粗砂・粗砂の組成となる。汀線から沖へ約430mの地点～汀線から沖へ約600mの地点間で、 $1.0\sim 2.0\phi$ の値を示し、中砂を組成する。ただし、前者のこの地点間で、1点試料採取できず、ない。汀線から沖へ約620mの地点～Offshore間で、両者とも $2.0\sim 3.0\phi$ の値を示して、細砂を組成する。

ここで、前者から後者への岸沖方向変異とそのわけを説明すると、前者は、夏季での変異の最中の海底底質の粒度組成であって、北ないし、北東からの風の頻度が高く、従って北ないし、北東からの沿岸流の頻度も高い。また、水の流れのベクトルは、冬季の水の流れのそれより小さい。よって、堆積の方が侵食より優勢に作用するからである。細粒側へ分級作用をうけて、Nearshoreに細粒成分の砂が堆積し

ている所以である。一方、後者においては、9月中の嵐で、冬季よりも小さいベクトルをもつ離岸流によって、粗粒側に分級作用をうけた砂（微量な小礫、極粗砂、粗砂）が、汀線～Troughの地点間に堆積している。また、弧状沿岸砂州岸側斜面、Barの頂点には、Troughで粗粒側へ分級作用をうけた砂が、“せり上がる”ようにして堆積した。従って、汀線付近の2点を除いて、汀線～Barの頂点の地点間の粒度組成は、前者のこの地点間のそれと比べて、全体的に少しずつ粗粒化に変異したのである。Barの頂点～Offshoreの地点間は、前者のそれと比べて変異していないので、水の流れもなかったと思われる。

$\sigma\phi$ は、前者で、値の変化の幅が大きい。両者とも、汀線から沖へ約400mの地点のTroughで値が大きく、淘汰が大変悪い。全体的な傾向として、Trough地点付近に極大値があり、上に凸な放物線を描いているような気がする。

$\alpha\phi$ は、前者で、値が正を示す点の数が少なく、負を示す点の数が多し。後者で、値が正を示す点の数と負を示す点の数と半半となる。また、前者は、値の変化の幅が小さいが、後者は、値の変化の幅が大きい。前者と後者を比べると、後者で、汀線から沖へ約200mの地点が負から正に変換していて、Offshoreの1点も負から正に変換している。これらの、いくつかの地点ごとに、粗粒成分が、分級作用をうけながら岸から沖へ多量に移動する中に、少量の細粒成分が含まれて、堆積したことにより、値の正への変換につながるのであろう。

$\beta\phi$ は、上述のごとく、 $\sigma\phi$ と逆相関関係を示すことにより、両者ともきれいに、その関係を示すことがわかる。つまり、汀線から沖へ約400mの地点のTrough付近を極小値として、下に凸な放物線を描く傾向となる。

弧状沿岸砂州接合部において (Fig.12), (Fig.14), 両者の測線が、どちらかに少しずれていて、少し誤差があるようだ。これを踏まえて、考察していきたい。

$Md\phi$ は、前者で、汀線～汀線から沖へ約100mの地点間で、 $-2.5\sim -1.0\phi$ の値を示し、中礫・小礫によって組成する。汀線から沖へ約160mの地点～汀線から沖へ約210mの地点間で、 $0\sim 1.0\phi$ の値を示し、粗砂によって組成している。汀線から沖へ約280mの地点～汀線から沖へ約530mの地点間で、 $1.0\sim 2.0\phi$ の値を示して、中砂によって組成する。汀線から沖へ約550mの地点～Offshore間で、 $2.0\sim 3.0\phi$ の値を示して、細砂によって組成している。一方、後者で、汀線～汀線から沖へ約100mの地点間で、 $-2.0\sim 0\phi$ の値を示して、小礫・極粗砂によって組成する。汀線から沖へ約180mの地点～汀線から沖へ約430mの

地点間で、 $1.0 \sim 2.0 \phi$ の値を示し、中砂によって組成している。汀線から沖へ約500mの地点～Offshore間で、 $2.0 \sim 3.0 \phi$ の値を示して、細砂により組成する。ここで、両者の差異をみると、後者の極深部と極浅部の値が、前者のその2点よりもやや粗粒化していて、2地点以外の両者それぞれの値を比べて変化はない。前者は、北ないし、北東からの水の流れによって、細粒側へ分級作用をうけながら各地点に堆積し、安定した地形を保ちながら、値が段階的に変化している。後者になると、水の流れが前者と変わり、北西ないし、南西から大きなベクトルをもっている水の流れが、これの上手側で、この測線のすぐなりに位置する、弧状沿岸砂州中心部の各地点に堆積している砂を、粗粒側へ分級作用をうけながら、移動して、この測線に堆積したのであろう。このため、極深部が1.0m位、極浅部が0.5m位浅くなったのである。また、極深部、極浅部、ともに位置が汀線に近づいたかたちになった。ここで大事なのは、極粗砂、粗砂は、移動しやすく、堆積しやすい砂であることがわかる。

$\sigma \phi$ は、両者とも、汀線から沖へ行くにつれて値が小さくなる傾向である。つまり、負の相関関係を示すような気がする。ただし、後者が前者より、全体的に値が小さく、淘汰がよい傾向のようだ。

$\alpha \phi$ は、両者とも類似した傾向を示す。前者で、正、負に位置する地点の値の数が半半であるが、後者に至っては、大部分の地点の値の数が負に変換している。これは、上述のごとく、粗粒側に分級作用をうけた砂が各地点、とくに極深部、極浅部に多量に堆積したために、それよりも粗粒な成分の微量な存在によって、分布曲線の負、あるいは粗粒側に、正、あるいは細粒側よりも、やや長いtailをもつことで、分布曲線が粗粒側に歪む。このことで、多くの地点の値が負にシフトするのである。

$\beta \phi$ は、前者で、上述のごとく、 $\sigma \phi$ の値と逆相関関係を示しているようだ。また、安定した値をとり、スムーズに、左下から右上がりの傾向である。後者は、大きく分級作用をうけた砂が堆積して、大きく地形も海底底質も変異したため、値がぶれて、変化の幅も大きい。とくに、傾向はない。

(4) $Md \phi$ と $\sigma \phi$ 、 $\alpha \phi$ の相関関係 (Fig. 15)

まず、(Fig.15)内の記号を説明すると、(a)は汀線付近、(b)はNearshore付近、(c)はTroughあるいは、弧状沿岸砂州接合部の極深部付近、(d)は弧状沿岸砂州中心部岸側斜面からBarの頂点まで、あるいは弧状沿岸砂州接合部の極浅部岸側斜面からその頂点まで、(e)は弧状沿岸砂州中心部の沖側斜面、あるいは接合部極浅部の沖側斜面、(f)はOffshore付近、と明記する。

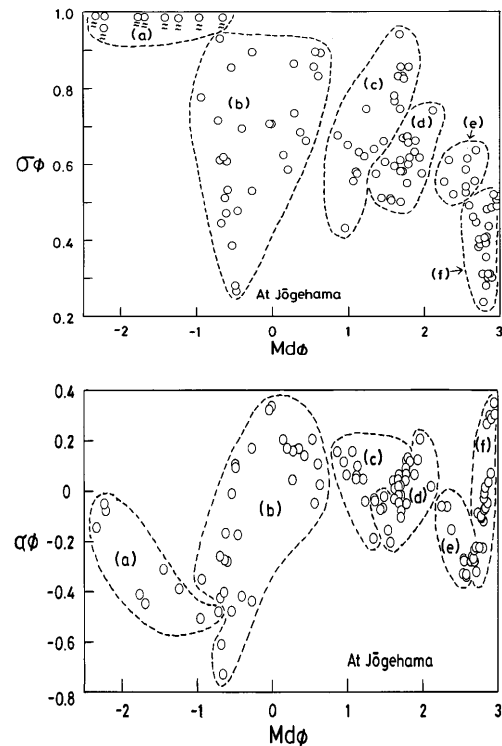


Fig.15 The correlation between $Md \phi$ and $\sigma \phi$, $\alpha \phi$, in the sediment of the sea bottom.

$Md \phi - \sigma \phi$ の相関関係において、粗粒側で $\sigma \phi$ の値が大きく、細粒側に徐々に値が小さくなる傾向を示すようだ。つまり、負の相関関係を示している。(a)の区分では、大部分が礫を堆積していて、ここに、海岸砂丘砂が流入してきて、また、沖側から細粒成分が加わり、それぞれ混合することによって、淘汰が非常に悪いことに、つながるのである。(b)の区分では、極粗砂・粗砂が主要成分をなしていて、 $\sigma \phi$ の値の変化の幅が大きい。極粗砂・粗砂は、移動しやすく、堆積しやすい粒径の砂であることもわかる。この区分の地点は、水の流れのベクトルが最も大きい地点でもあり、これらのことが、 $\sigma \phi$ の値の変化の幅が大きいことに反映している。(c)の区分では、中砂が主要成分をなしていて、 $\sigma \phi$ の値の変化の幅が少し大きい。この区分の地点で、弧状沿岸砂州中心部において、岸から粗粒成分が移動してきて堆積し、後、分級作用をうけて、“せり上がって”行く砂がある。また、弧状沿岸砂州接合部でも、沖側から、あるいは、隣接の中心部のTroughやBarの頂点から“せり上がって”堆積することになる。従って、このような現象として表れることになる。(d)の区分では、(c)の区分と同様、主要成分が中砂である。 $\sigma \phi$ の値の変化の幅がある程度小さいのは、弧状沿岸砂州中心部で、岸側から、接合部で、沖側から、それぞれ分級作用をうけている最中か、後の砂が堆積し

たことにより、言えるのである。(e)の区分では、主要成分は、細砂である。また、 $\sigma \phi$ の値の変化の幅も極小さい。弧状沿岸砂州中心部、あるいは接合部、のBarの頂点、もしくは極浅部、の沖側斜面で、分級作用を受けた後の砂が堆積することから、このことが言える。(f)の区分では、主要成分が細砂で、微砂に近い。 $\sigma \phi$ の値の変化の幅が少し広いが、この区分の地点は、水の流れがほとんどないから、冬季の大嵐で、岸側の粗粒成分が流れて行って、このことに反映しているのだろう。

$Md \phi - \alpha \phi$ の相関関係において、全体的に明瞭な傾向はみられない。(a)の区分では、主要成分が礫であって、 $\alpha \phi$ の値の全点が負にシフトしている。

(b)の区分では、 $\alpha \phi$ の値の変化の幅が大きく、正、負で半半にシフトしている。主要成分は、極粗砂・粗砂であり、水の流れも激しく、分級作用も顕著に行われて、微量成分が堆積しやすいことによる。

(c)の区分では、主要成分が中砂である。 $\alpha \phi$ の値の点の大部分が正にシフトしている。この区分の地点は、岸から、または、沖から、分級作用を受けて、主要成分より、さらに細粒な成分が微量堆積しやすい。(d)の区分では、 $\alpha \phi$ の値の変化の幅が小さく、正、負で半半にシフトしている。主要成分は中砂である。(e)の区分では、主要成分が細砂で、 $\alpha \phi$ の値の変化の幅も極小さく、大部分負にシフトしている。

(f)の区分では、主要成分が細砂で、微砂に近い。 $\alpha \phi$ の値の変化の幅も広く、大部分が負にシフトしているようだ。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。

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屑の多くは、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、粒径分布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 ϕ 値を取り、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定した。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。

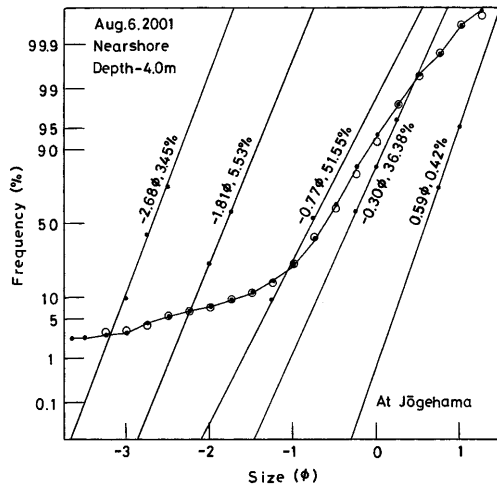
今回は、2001年8月6日、2002年9月20日、そして、2003年8月23日、10月7日の4回、上下浜の海底下質採取の試料を用いて解析し、考察する。1回につき、弧状沿岸砂州中心部と弧状沿岸砂州接合部の2測線とし、おのおのの測線で3点ずつ行った。

(1) 2001年8月6日

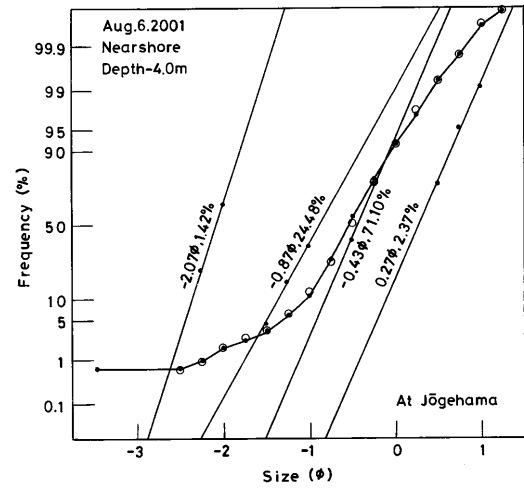
弧状沿岸砂州中心部 (Fig.16) において、Nearshore(a)では、 $Md \phi$ が、 -2.7ϕ の中礫を3.5%、 -1.8ϕ の小礫を5.5%、 $-1.0 \sim 0 \phi$ の極粗砂を87.9%、 0.6ϕ の粗砂を0.4%でそれぞれ構成する。Trough(b)では、 $Md \phi$ が、 -0.1ϕ の極粗砂を39.5%、 0.7ϕ の粗砂を46.0%、 1.6ϕ の中砂を13.2%、 2.7ϕ の細砂を1.1%でそれぞれ構成する。Bar(c)では、 $Md \phi$ が、 0.7ϕ の粗砂を61.2%、 1.6ϕ の中砂を36.3%、 2.5ϕ の細砂を2.5%、 3.7ϕ の微砂を微量でそれぞれ構成している。

この測線の試料採取時期は、夏季のうちの中間位なので、冬季に激しく洗礼を受けた、名残りの粒度組成である。そこに、北方の沖から、北東からの沿岸流によって、粗粒および細粒成分がいくらか、場所によって堆積しているようだ。つまり、Nearshoreで極粗砂が80%以上、Troughで極粗砂・粗砂が80%以上、Barで粗砂・中砂が90%以上それぞれしめている。前回(内山、2003)述べているように、この粒度組成は、新砂丘砂のそれと一致する。海浜の後浜の基部に形成している海岸砂丘砂が、冬季の大きな波浪によって侵食されて、海に流出し、離岸流により、細粒側へ分級作用を受けながら移動して堆積したことになる。新砂丘砂は(後述する)、一般に二峰分布を示して、そのうちの海岸砂丘砂は、極粗砂・粗砂で、内陸の新砂丘砂は、粗砂・中砂でそれぞれ組成している。NearshoreとTroughは海岸砂丘砂、Barは内陸の新砂丘砂で、それぞれ大部分組成していることがわかる。とくに、Barでは、内陸の新砂丘砂の粒度組成と一致して、二峰分布を示し、粗粒側の組成が勝っている。

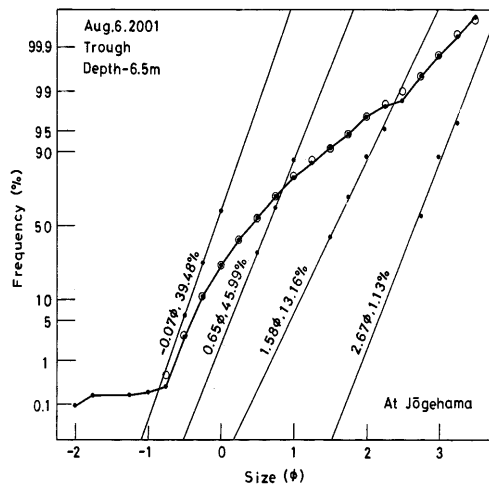
弧状沿岸砂州接合部 (Fig.17) において、Nearshore(d)では、 $Md \phi$ が、 -2.1ϕ の中礫を1.4%、 $-1.0 \sim 0 \phi$ の極粗砂を95.6%、 0.3ϕ の粗砂を2.4%でそれぞれ構成



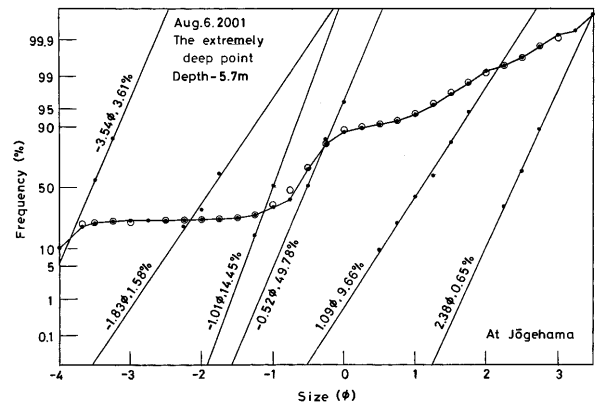
(a) On the nearshore



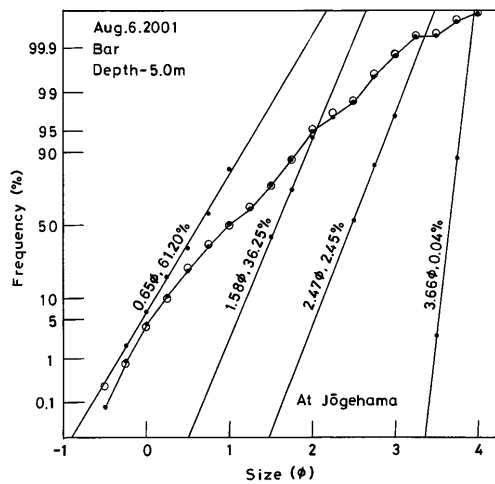
(d) On the nearshore



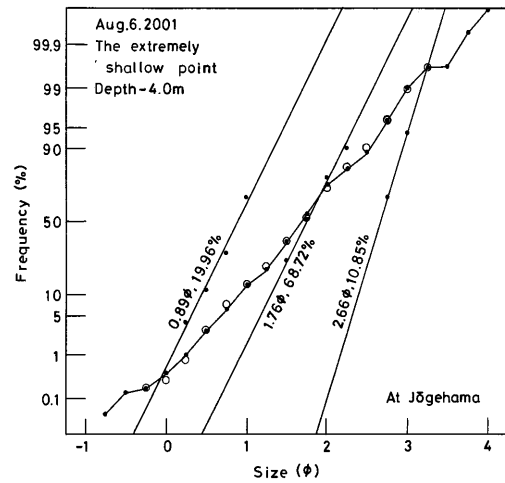
(b) On the trough



(e) On the extremely deep point



(c) On the bar



(f) On the extremely shallow point

Fig.17-(d),(e),(f) At the jointed measuring line on the crescent-shaped bar, on Aug.6.2001.

Fig.16-(a),(b),(c) At the central measuring line on the crescent-shaped bar, on Aug.6.2001.

する。極深部(e)では、 $Md \phi$ が、 -3.5ϕ の中礫を3.6%、 $-2.0 \sim -1.0 \phi$ の小礫を16.0%、 -0.5ϕ の極粗砂を49.8%、 1.1ϕ の中砂を9.7%、 2.4ϕ の細砂を0.7%でそれぞれ構成する。極浅部(f)では、 $Md \phi$ が、 0.9ϕ の粗砂を20.0%、 1.8ϕ の中砂を68.7%、 2.7ϕ の細砂を10.9%でそれぞれ構成している。

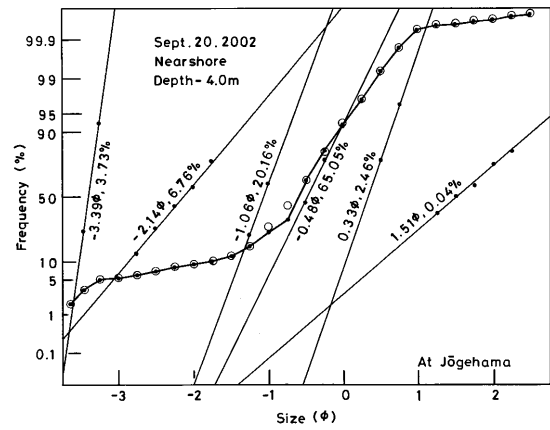
この測線においても、前述の測線の3地点と同様、Nearshoreで、極粗砂が90%以上、極深部で、極粗砂・中砂が50%以上、極浅部で、粗砂・中砂が80%以上それぞれしめている。つまり、新砂丘砂の粒度組成と一致する。極深部の礫が19.6%で構成しているのは、水の流れの上手側すぐとなり位置する、弧状沿岸砂州中心部の各地点から、北ないし北東からの沿岸流によって移動し、“ころがり上がる”ようにして堆積したと思う。極浅部の細砂が10.9%で構成しているのは、沖からの水の流れによって移動し、細粒側へ分級作用をうけて、“せり上がる”ようにして堆積したであろう。とくに、極浅部では、内陸の新砂丘砂の粒度組成と一致していて、二峰分布を示す細粒側の組成が勝っている。

(2) 2002年9月20日

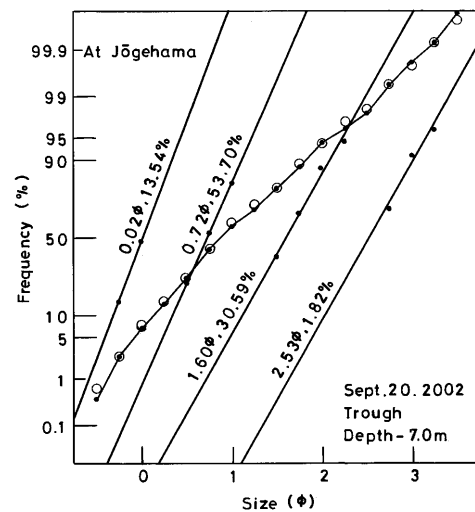
弧状沿岸砂州中心部 (Fig.18) において、Nearshore(a)では、 $Md \phi$ が、 $-4.0 \sim -2.0 \phi$ の中礫を10.5%、 -1.1ϕ の小礫を20.2%、 -0.5ϕ の極粗砂を65.1%、 0.3ϕ の粗砂を2.5%、 1.5ϕ の中砂を微量でそれぞれ構成する。Trough(b)では、 $Md \phi$ が、 $0 \sim 1.0 \phi$ の粗砂を67.2%、 1.6ϕ の中砂を30.6%、 2.5ϕ の細砂を1.8%でそれぞれ構成する。Bar(c)では、 $Md \phi$ が、 $0 \sim 1.0 \phi$ の粗砂を55.2%、 1.6ϕ の中砂を41.2%、 2.7ϕ の細砂を3.4%でそれぞれ構成している。

この測線において、2001年8月6日の同測線と、あるいは同地点とおのの比較して、Nearshoreで礫が多量、Trough、Barで細粒化している。とくに、Troughで、極粗砂が微量か、もしくは存在していない。また、TroughとBarで、構成集団の粗砂と中砂のしめる割合が前回とおのの類似している。これは、2地点とも、内陸の新砂丘砂の二峰分布を示す粒度組成であって、その粗粒側がやや多く組成する。これらのことから、海底底質採取が9月20日で、夏季のうちの後半の時期でもあるため、夏季での、水の流れや海底底質の粒度組成の、それぞれの特徴が端的に現われている。北もしくは沖側から、また北東からの沿岸流によって、Nearshoreに礫が、TroughとBarには細粒側へ分級作用をうけた砂が堆積したのだろう。

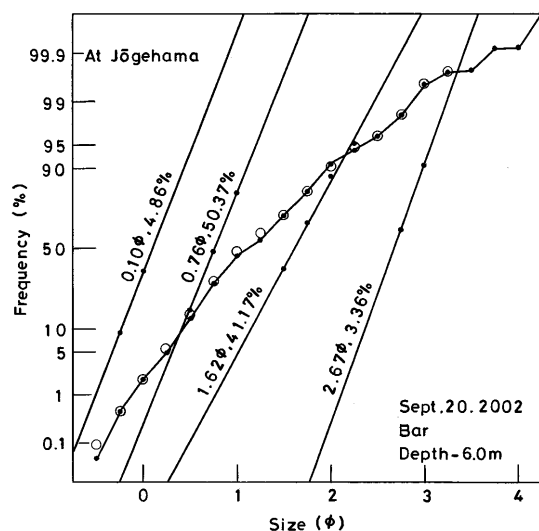
弧状沿岸砂州接合部 (Fig.19) において、Nearshore(d)では、 $Md \phi$ が、 $-4.0 \sim -2.0 \phi$ の中礫を48.0%、 $-2.0 \sim -1.0 \phi$ の小礫を15.9%、 -0.5ϕ の極粗砂を25.2%、 1.2ϕ の中砂を微量でそれぞれ構成する。極深部(e)で



(a) On the nearshore

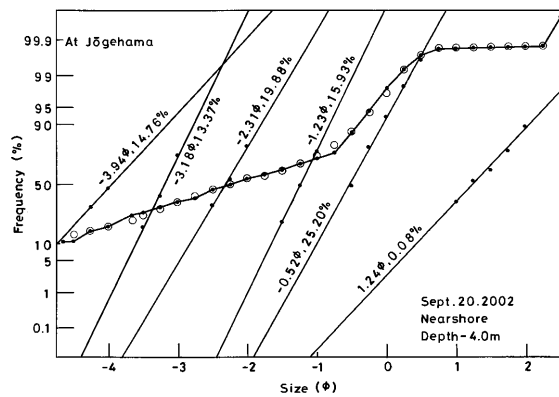


(b) On the trough

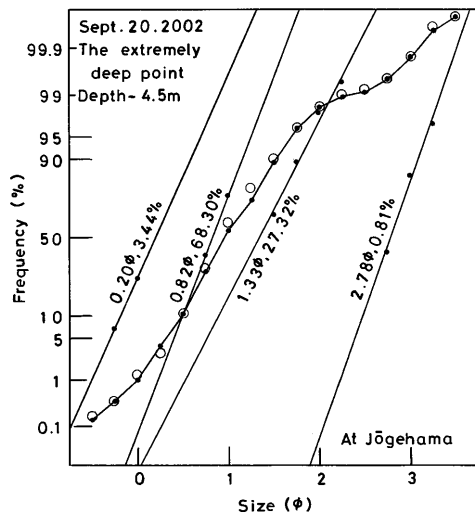


(c) On the bar

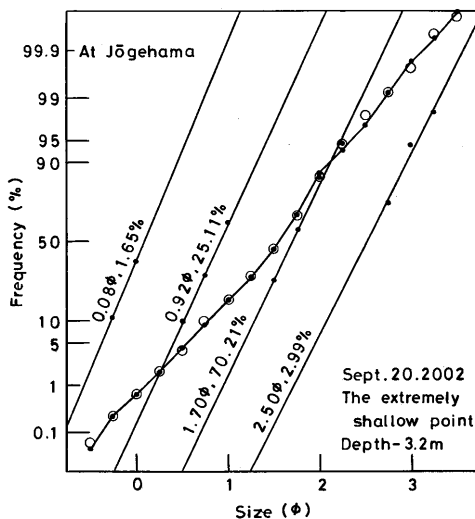
Fig.18-(a),(b),(c) At the central measuring line on the crescent-shaped bar, on Sept.20.2002.



(d) On the nearshore



(e) On the extremely deep point



(f) On the extremely shallow point

Fig.19-(d),(e),(f) At the jointed measuring line on the crescent-shaped bar, on Sept.20.2002.

は、 $Md \phi$ が、 $0 \sim 1.0 \phi$ の粗砂を71.7%， 1.3ϕ の中砂を27.3%， 2.8ϕ の細砂を0.8%でそれぞれ構成する。極浅部(f)では、 $Md \phi$ が、 $0 \sim 1.0 \phi$ の粗砂を26.8%， 1.7ϕ の中砂を70.2%， 2.5ϕ の細砂を3.0%でそれぞれ構成している。

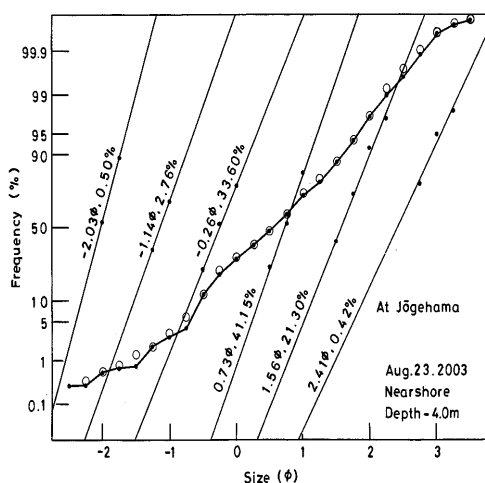
この測線において、Nearshoreで、礫が異状に多量だ。また、極深部と極浅部で細粒化しているのがわかる。とくに、極深部で、極粗砂の存在がないか、微量なものも裏付ける。これらは、前述のように、海底底質採取の時期が9月20日という条件を加味して、北方からの水の流れと、北東からの沿岸流が、それらのことに大きく寄与していると思う。Nearshoreでは、北東からの沿岸流によって、汀線付近の礫が運ばれてきて、“ころがり上がる”ようにしてこの地点に堆積したであろう。また、極深部、極浅部でも、北方からの水の流れによって、その上手側すぐとなりに位置する、弧状沿岸砂州中心部のTrough, Barから細粒側に分級作用をうけて運ばれた砂が、“せり上がる”ようにして堆積したことがわかる。とくに極浅部で、内陸に堆積している新砂丘砂の二峰分布を示す粒度組成のうち、細粒側の組成の砂を多量に含む。

(3) 2003年8月23日，2003年10月7日

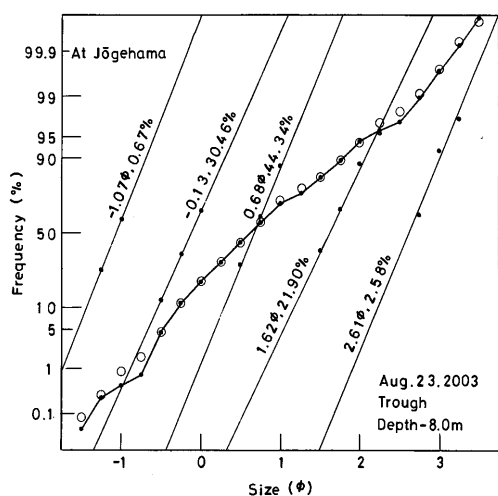
2003年8月23日を前者といい，10月7日を後者という。前者と後者をおのおの比較しながら考察してゆく。

弧状沿岸砂州中心部 (Fig.20), (Fig.22) において、前者のNearshore(a)では、 $Md \phi$ が、 -2.0ϕ の中礫を0.5%， -1.1ϕ の小礫を2.8%， -0.3ϕ の極粗砂を33.6%， 0.7ϕ の粗砂を41.2%， 1.6ϕ の中砂を21.3%， 2.4ϕ の細砂を0.4%でそれぞれ構成する。Trough(b)では、 $Md \phi$ が、 -1.1ϕ の小礫を0.7%， -0.1ϕ の極粗砂を30.5%， 0.7ϕ の粗砂を44.3%， 1.6ϕ の中砂を21.9%， 2.6ϕ の細砂でそれぞれ構成する。Bar(c)では、 $Md \phi$ が、 $0 \sim 1.0 \phi$ の粗砂を22.3%， 1.8ϕ の中砂を64.3%， 2.6ϕ の細砂を13.3%でそれぞれ構成している。一方、後者の、Nearshore(a)では、 $Md \phi$ が、 $0 \sim 1.0 \phi$ の粗砂を32.0%， 1.6ϕ の中砂を63.8%， 2.6ϕ の細砂を4.1%でそれぞれ構成する。Trough(b)では、 $Md \phi$ が、 -1.0ϕ の小礫を1.2%， -0.3ϕ の極粗砂を61.0%， 0.6ϕ の粗砂を26.3%， 1.6ϕ の中砂を9.8%， 2.7ϕ の細砂を1.6%でそれぞれ構成する。Bar(c)では、 $Md \phi$ が、 $0 \sim 1.0 \phi$ の粗砂を37.6%， 1.7ϕ の中砂を54.6%， 2.7ϕ の細砂を7.6%でそれぞれ構成している。

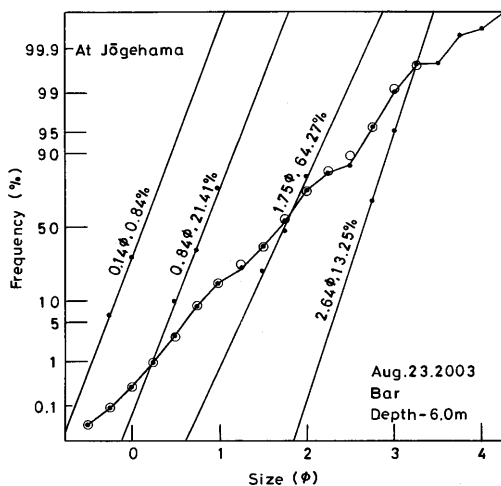
この測線において、前者のNearshoreでは、粗粒成分が多量に堆積している。これは、北方からの水の流れ、あるいは北東からの沿岸流によって、これらの水の流れの上手側すぐとなりに位置する、弧状沿岸砂州接合部の沖側の各地点から、粗粒側へ分級作用をうけて“流れ下る”ように移動し、堆積したの



(a) On the nearshore



(b) On the trough

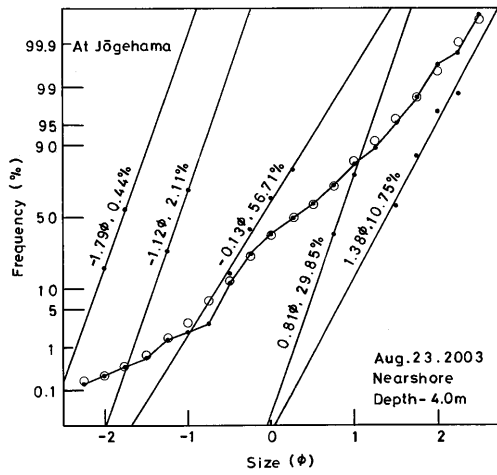


(c) On the bar

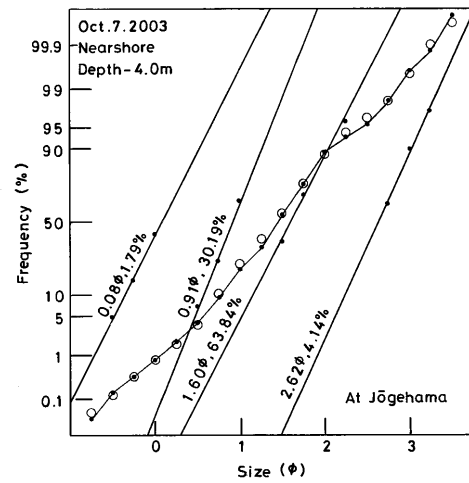
Fig.20-(a),(b),(c) At the central measuring line on the crescent-shaped bar, on Aug. 23, 2003.

であろう。一方、後者のNearshoreでは、細粒成分が多量に堆積していて、極粗砂の存在がないか、あるいは微量である。これは、海岸砂丘砂が、滞留している海浜から海へ流出し、大きなベクトルをもった離岸流によって、細粒側へ大きく分級作用をうけて、汀線付近から沖へ移動し、この地点に堆積した。前者のTroughでは、微妙に細粒化したようだ。この側線のNearshoreから細粒側へ分級作用をうけた砂が、そのまま堆積しているという感じである。これは、冬季における激しい水の流れによるものの名残りとして、夏季に入ると、海底底質採取の時期までの水の流れによるものと、それぞれ多大な影響をうけて、このような粒度組成を示すものと思う。極粗砂、粗砂、中砂と大体平均した、正規分布集団の構成である。一方、後者のTroughでは、冬季での波浪による水の流れにやや近い規模により、岸から沖への水の流れ（離岸流）で分級作用を受けながら、前者のNearshoreに堆積済みの極粗砂より粗粒側のものが、この地点に堆積したと思う。このため、細粒成分の、それぞれの正規分布集団の構成が減じ、小礫、極粗砂のそれが、前者のこの地点のそれよりも倍近く増加していることがわかる。前者のBarでは、4つの正規分布集団のうち、粗粒側が少なく、細粒側が多くそれぞれ構成している。これは、夏季の水の流れである、北方（沖）からと、北東から（沿岸流）の水の流れが、細粒側への分級作用によって、細粒成分が多量に堆積したと思う。一方、後者のBarでは、岸から沖への流れである、離岸流によって、Troughで激しく粗粒側へ分級作用をうけて、弧状沿岸砂州岸側斜面を“せり上がる”ようにして、この地点に堆積したであろう。これは、前者のこの地点の正規分布集団の構成と比較して、粗粒成分が増加して、細粒成分が減少しているからである。多分、細粒成分は、沖へ運ばれたようだ。また、両者のBarは、内陸に形成している新砂丘砂の正規分布集団の構成によく類似している。

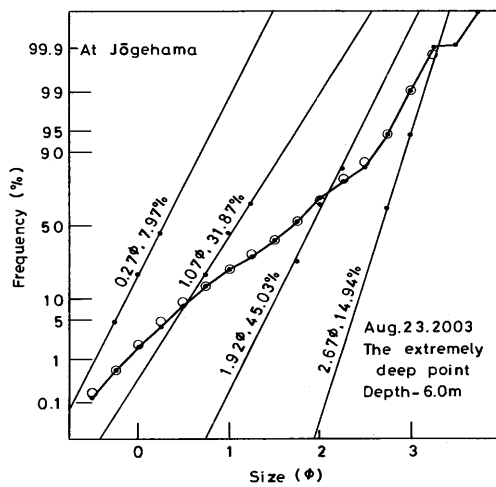
弧状沿岸砂州接合部（Fig.21）、（Fig.23）において、前者のNearshore(d)では、 $Md \phi$ が、 $-1.0 \sim -2.0 \phi$ の小礫を2.6%、 -0.13ϕ の極粗砂を56.7%、 0.8ϕ の粗砂を29.9%、 1.4ϕ の中砂を10.8%でそれぞれ構成する。極深部(e)では、 $Md \phi$ が、 0.3ϕ の粗砂を8.0%、 $1.0 \sim 2.0 \phi$ の中砂を76.9%、 2.7ϕ の細砂を14.9%でそれぞれ構成する。極浅部(f)では、 $Md \phi$ が、 $0 \sim 1.0 \phi$ の粗砂を16.7%、 1.8ϕ の中砂を69.9%、 2.7ϕ の細砂を13.3%でそれぞれ構成している。一方、後者のNearshore(d)では、 $Md \phi$ が、 $-4.0 \sim -2.0 \phi$ の中礫を17.1%、 -1.3ϕ の小礫を13.0%、 $-1.0 \sim 0 \phi$ の極粗砂を67.0%でそれぞれ構成する。極深部(e)では、 $Md \phi$ が、 -0.1ϕ の極粗砂



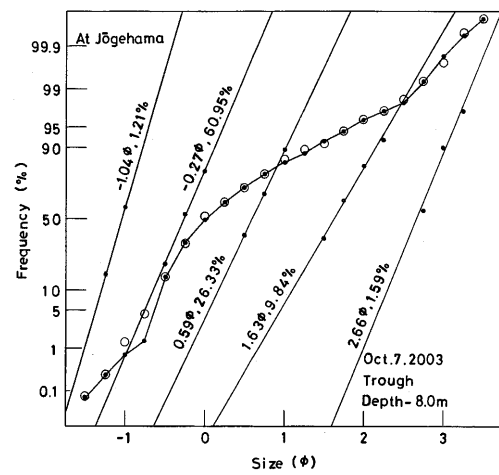
(d) On the nearshore



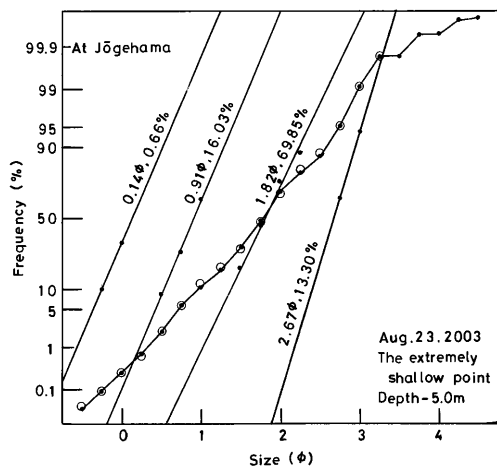
(a) On the nearshore



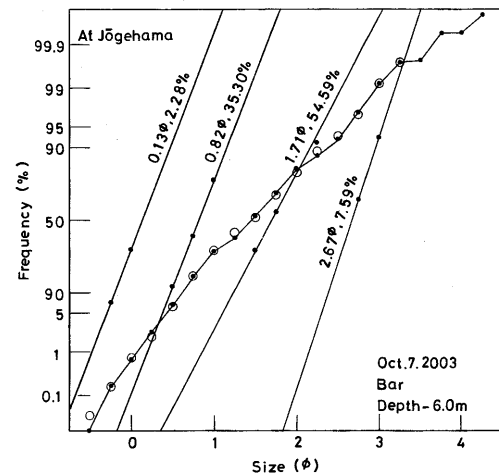
(e) On the extremely deep point



(b) On the trough



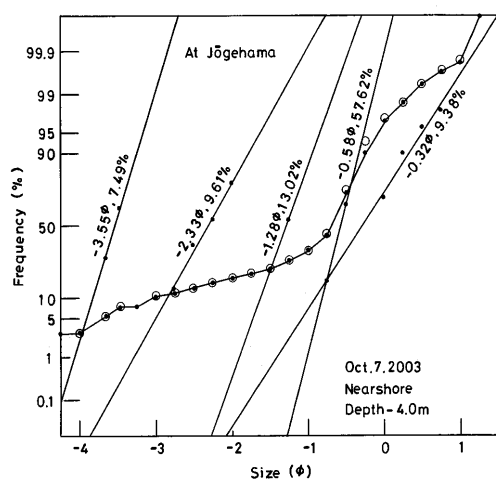
(f) On the extremely shallow point



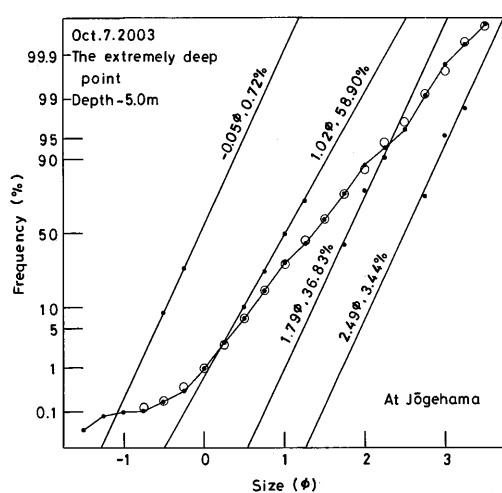
(c) On the bar

Fig.21-(d),(e),(f) At the jointed measuring line on the crescent-shaped bar, on Aug.23.2003.

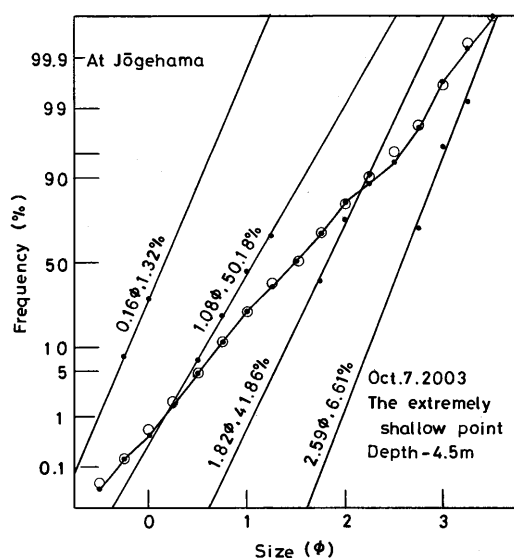
Fig.22-(a),(b),(c) At the central measuring line on the crescent-shaped bar, on Oct.7.2003.



(d) On the nearshore



(e) On the extremely deep point



(f) On the extremely shallow point

Fig.23-(d),(e),(f) At the jointed measuring line on the crescent-shaped bar, on Oct.7.2003.

Fig.16~Fig.23 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, on Aug.6.2001, Sept.20.2002, Aug.23. 2003 and Oct.7.2003.

を0.7%, 1.0~2.0 φの中砂を95.7%, 2.5 φの細砂を3.4%でそれぞれ構成する。極浅部(f)では, Md φが, 0.2 φの粗砂を1.3%, 1.0~2.0 φの中砂を92.0%, 2.6 φの細砂を6.6%でそれぞれ構成している。

この測線において, 前者のNearshoreでは, 全体的に, 細粒化の傾向を示し, 海岸砂丘砂の正規分布集団の構成と類似する。夏季における, 北方(沖)からの水の流れ, および北東からの沿岸流が顕著に作用し, 水の流れの上手側すぐとなり位置している, 弧状沿岸砂州中心部の各地点から, 細粒側へ分級作用をうけて移動し, “せり上がって”堆積したであろう。一方, 後者のNearshoreでは, 全体的に粗粒化していて, 粗砂よりも細粒側のものは存在しないか, 微量であって, 礫が多量に堆積している。冬季にやや近い水の流れ, つまり, 西方(沖)からの水の流れ, および南西からの沿岸流が顕著に作用し, 水の流れの上手側すぐとなり位置する, 弧状沿岸砂州中心部の各地点から, 細粒側へ分級作用をうけて堆積したのだろう。とくに, 礫は“ころがり上がる”ようにして堆積した。前者の極深部では, 中砂が正規分布集団の大部分を構成している。これは, 夏季における, 北方(沖)からの水の流れが多量に作用し, また, 北東からの沿岸流が微妙に加味して, 水の流れの上手側すぐとなり位置する, 弧状沿岸砂州中心部の各地点から, 細粒側へ分級作用をうけて, “せり上がる”ようにして堆積したのではないか。一方, 後者の極深部では, 前者 (Fig.12), 後者 (Fig.14) の両者のこの地点を比較したとき, 断面図といいながら, 1m前後堆積したことになる。また, 前者 (Fig.5), 後者 (Fig.6) の比較をしたとき, 前者の定点0から南西へ約200mの地点より南西側の断面図は, 変形しているのに対して, 後者のその所の断面図はきれいなSinカーブをしている。凹, 凸の個所はきれいに修復されて, しかも, 定点0から南西へ約500mの地点では, 50~60cm深くなった。このことから, 西方(沖)からの水の流れ, および南西からの沿岸流と, 2つの流れの上手側すぐとなり位置する, 弧状沿岸砂州中心部で, 離岸流によって, 分級作用をうけて, “せり上がって”Barに堆積した砂(主に中砂)が, 上述の2つの水の流れによって運

ばれて、後者のこの地点に堆積したのだろうか。
 これが、後者のこの地点に、中砂が90%以上を構成し、堆積している所以である。また、内陸に堆積している、二峰分布を示す新砂丘砂で、細粒側の成分が両者のこの地点で大部分をしめている。両者の極浅部において、互いに正規分布集団の構成が類似している。また、両者とも、この前の地点（極深部）と正規分布集団の構成がそれぞれ類似していて、水の流れと堆積の方法も、この前の地点（極深部）と全く同様である。

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、構成正規分布集団の解析 (Fig.24) によると、 $Md \phi$ が、 $-1.0 \sim 0 \phi$ の極粗砂を58.0%， 0.87ϕ の粗砂を35.9%， 1.6ϕ の中砂を5.8%， 2.7ϕ の細砂を0.2%でそれぞれ構成している。ヒストグラム (Fig.25) によると、 -0.37ϕ ， 0.63ϕ ， 1.38ϕ に3つのモードを示す、三峰分布砂である。一方、内陸に堆積する新砂丘砂は、構成正規分布集団の解析 (Fig.26) で、 $Md \phi$ が、 -0.4ϕ の極粗砂を5.3%， 0.6ϕ の粗砂を36.1%， 1.6ϕ の中砂を42.4%， 2.3ϕ の細砂を13.2%， 3.6ϕ の微砂を1.8%でそれぞれ構成する。ヒストグラム (Fig.27) によると、 0.88ϕ ， 1.38ϕ に2つのモードをもつ二峰分布砂である。

両方とも、成因が全く同様な新砂丘砂で、氷河時代の海退期に海岸に堆積している砂が、北西の激しい季節風によって、分級作用をうけて運ばれた。

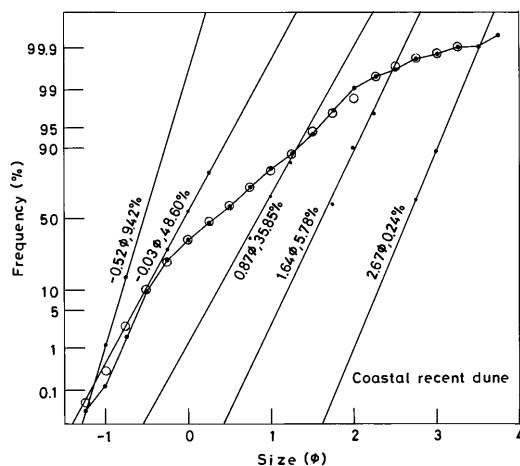


Fig.24 Cumulative probability curve and constituent subpopulations derived by partitioning from the curve. Circles are the cumulative plots constructed from the partitioned constituent subpopulations, on the coastal recent dune.

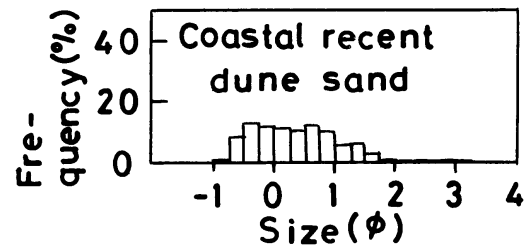


Fig.25 An example of again size distribution of the coastal recent dune.

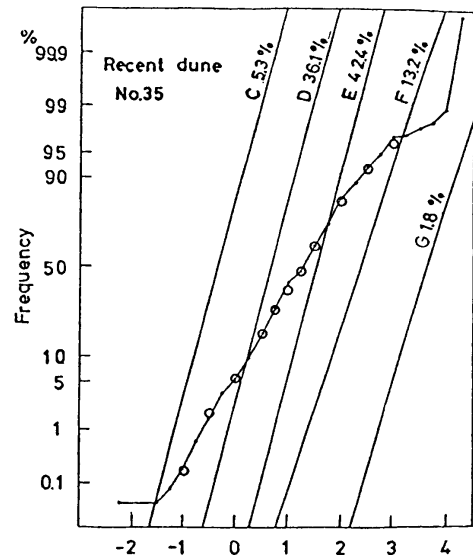


Fig.26 Cumulative probability curve and constituent subpopulations derived by partitioning from the curve. Circles are the cumulative plots constructed from the partitioned constituent subpopulations, on the recent dune.

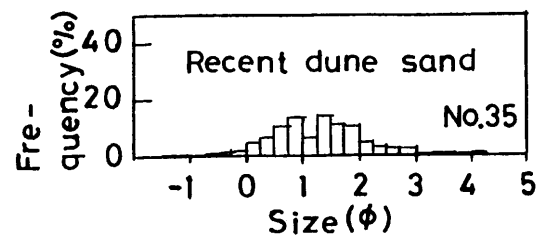


Fig.27 An example of again size distribution of the recent dune.

そこで、粗粒なものは、現在の海浜の後浜の基部に堆積し、もっと分級作用をうけた細粒なものが、内陸に堆積した。それが、海岸砂丘砂であり、内陸の新砂丘砂である。海岸砂丘砂が海底底質に多大に関与しているが、内陸の新砂丘砂は全然関係ない。漂砂源を失った上下浜海岸では、海底底質を組成しているのは、海岸砂丘砂である。冬季の激しい波浪によって海岸砂丘砂が侵食されて、海浜に流出し、

滞留する（内山，2003）。つぎに，海浜から海に流出し，汀線，Nearshore, Trough, Bar, Offshoreと沖へ，分級作用をうけて，運ばれて，堆積しているのがわかる。

5. 結語

自然の節理に従って，動いている上下浜海岸の海底地形と海底底質の粒度組成について調査を行った。これにより，海底地形の変形，海底底質の粒度組成の岸沖方向変異といったことがらをとおして，以下の知見を得ることができた。

(1) 汀線から沖へ約200mの地点を，汀線に沿った深浅測量による海底地形

山は，弧状沿岸砂州接合部の極浅部に，谷は，弧状沿岸砂州中心部のTroughにそれぞれ合致している。また，海浜に対しても，海底地形の山は，大カスプの突出部に，谷は，大カスプの湾入部にそれぞれ対応している（内山，2003）。海底地形の山は，あらゆる部分より先行して，変形，移動する。このことにより，海浜では，大カスプの突出部が移動に関しては一番速い（内山，2003）が，しかし，海底地形の山の方が海浜のそれより先行して速い。

上下浜海岸は，自然界のあらゆるものとバランスを保ちながらの営みであったが，近頃部分的にくずれて来ているのであろう。このため，変則的な海底地形となり，測量の後半になるにつれ，山と谷の最大比高は大きくなる。この海底地形の波長は，海浜の大カスプの波長と同様に，400～500m位である。山と谷の変形，移動は，冬季の激しい季節風による水の流れのみで行われ，夏季に発生する水の流れでは，これほどまでいかない。

(2) 岸沖方向の海底地形

弧状沿岸砂州中心部においては，バランスがくずれ，侵食傾向になるにつれて，岸から沖へ向う水の流れのベクトルが大きくなるため，Troughで削り，Barへ積み上げるようになり，両地点の比高が大きくなる傾向がある。弧状沿岸砂州接合部においては，冬季にすべてのものより先行して，変形，移動し，夏季にこれが成長する。つまり，堆積して水深が浅くなるため，極深部と極浅部の比高が小さくなる傾向を示す。また，成長してくるにつれて，2地点とも汀線に近づいてくる。

(3) 海底底質の粒度組成の岸沖方向変異（近似計算による）

$Md\phi$ は，弧状沿岸砂州中心部で，岸から沖へ，なだらかに細粒化している。汀線から沖へ約500mの地

点付近，つまり砂州沖側斜面付近から沖へ細砂に変換している。これらのことは，岸から沖へ，水の流れが顕著で，沖へ，沖へと分級作用が行われたことをものがたっている。弧状沿岸砂州接合部では，汀線から沖へ約250～300mの地点付近に極浅部があり，この地点付近の沖側斜面あたりから細砂に変換している。Nearshore，極深部，極浅部の各地点とも汀線に近いので，分布曲線では，汀線付近から急勾配で，沖側斜面を変換点にして，細砂に変換している。これは，沖から岸への水の流れが要因としている。

$\sigma\phi$ は，弧状沿岸砂州中心部において，測線の中央部分で値が大きく，淘汰が悪い。汀線付近とOffshoreで値が小さく，淘汰がよい。しかし，汀線付近で極端に値が大きく，淘汰が悪いものもある。測線の中央部分で淘汰が悪いのは，この測線の，この地点がTrough付近にあたるため，侵食，堆積が顕著で，こういう現象となるのではないかと。つまり，例外を除いて，上に凸の放物線を示す傾向のようだ。弧状沿岸砂州接合部において，水の流れは，沖から岸へ向う方が勝っていて，また，侵食よりも堆積の方が勝っている測線である。前述の現象が顕著な地点である，Nearshore，極深部，極浅部は，汀線に近づくため，岸側で値が大きく，沖へ行くにつれて，値が小さくなっている。つまり，例外を除いて，左上から右下にと負の相関関係のようだ。

$\alpha\phi$ は，弧状沿岸砂州中心部，接合部において，全般的に負にシフトする点が多い傾向を示す。Troughや極深部付近で，正にシフトしている点が多い。多量成分の中に，極度に分級作用をうけた粗粒，あるいは細粒な成分が微量存在していて，分布曲線の負，あるいは粗粒側，正，あるいは細粒側のtailが長い側に歪むことで，上述のことが説明できるのである。

$\beta\phi$ は，この分布曲線において， $\sigma\phi$ のそれと全く逆相関関係であることがわかる。例外を除いて，弧状沿岸砂州中心部では，測線の中央で下に凸の放物線を示す傾向がある。これらのことは， $\sigma\phi$ の項目と同様，分級作用が多大に関与しているからである。

(4) $Md\phi$ と $\sigma\phi$ ， $\alpha\phi$ の相関関係（Fig. 15）

$Md\phi - \sigma\phi$ において， $Md\phi$ が $-2.5 \sim -1.0\phi$ で， $\sigma\phi$ の値が最大値を示し， $Md\phi$ の値が大きくなるにつれて， $\sigma\phi$ の値は小さくなっている。大体，負の相関関係を示すようだ。 $Md\phi$ の値が 0ϕ 付近の(b)の地域では， $\sigma\phi$ の値の変化の幅が広く，あらゆる方向からの水の流れのベクトルが大きくなり，顕著であることをものがたっている。また，この図から極粗砂，粗砂が最も移動しやすく，堆積しやすい粒径の砂であることもわかる。(c)，(d)の地域は，斜面を“せり

上がって”行くような水の流れの大きなベクトルを示すであろう。(e), (f)の地域は、水の流れが認められるほどの大きなベクトルは示さないようだ。つまり、これらの地域に移動限界水深がある。

$Md\phi - \alpha\phi$ において、(b)の地域で、負から正へと、 $\alpha\phi$ の値の変化の幅が広いのは、この地域で、水の流れが一番顕著であり、岸側から、あるいは沖側からの微量な粗粒成分あるいは細粒成分が、分布曲線の負、あるいは粗粒側、また、正、あるいは細粒側に、それぞれ相対する側のtailよりも長いそれをもつことによるのである。つまり、tailの長い側に分布曲線が歪むことになる。よって、この事に、前述の要因が加味して、(b)の地域のような現象が現われる。(a)の地域では、粗粒成分の中に、礫成分が微量存在し、分布曲線の負、あるいは粗粒側に、正、あるいは細粒側よりも長いtailをもち、それで、 $\alpha\phi$ の値が大部分負にシフトしているのである。また、(e), (f)の地域では、細粒成分の中に粗粒成分が微量存在し、分布曲線の負、あるいは粗粒側に、正、あるいは細粒側より長いtailをもつことにより、例外を除いて、 $\alpha\phi$ の値が負にシフトする点が多い。(c), (d)の地域では、大体正規分布曲線に近い曲線が多いだろう。

(5) 構成正規分布集団による解析

2001年8月6日、2002年9月20日、2003年8月23日と、この3者は、夏季での条件を、また、2003年10月7日は冬季での条件を正規分布集団の構成に、それぞれ反映している。また、2002年9月20日、2003年8月23日は、時期が夏季であっても、後半に位置するため、冬季に発生する風、波、水の流れ、に近い条件下で、その影響を若干受けていると思われる。

弧状沿岸砂州中心部において、2001年8月6日、2002年9月20日、2003年8月23日では、Nearshoreの主要成分が極粗砂で、2003年8月23日だけが極粗砂、粗砂と主要成分を2分している。Troughの主要成分は粗砂で、2002年9月20日だけが、粗砂、中砂と細粒側へ主要成分を2分する。Barの主要成分は粗砂、中砂であり、正規分布集団をそれぞれの主要成分を核にして、おのおの、この地点で構成している。2003年10月7日、Nearshoreの中砂、Troughの極粗砂、Barの中砂を、それぞれ主要成分とし、正規分布集団を構成する。

弧状沿岸砂州接合部において、2001年8月6日、2002年9月20日、2003年8月23日では、Nearshoreの主要成分は極粗砂で、2002年9月20日のこの地点の主要成分だけが、礫となっている。これは、夏季での沿岸流の多大な寄与によるもので、“ころがり上がって”この地点に堆積したことだろう。極深部の主要成分は、2001年8月6日の極粗砂、2002年9月20日の粗砂、2003年8月23日の中砂と、後期になるにつれて細粒化の傾向を

示し、夏季のうちの後半へ採取時期になるにつれ、夏季に発生する水の流れのベクトルが徐々に大きくなってきたといえる。極浅部での主要成分は中砂であり、これを核として、正規分布集団をそれぞれ構成する。2003年10月7日では、Nearshoreの極粗砂、極深部・極浅部の中砂をそれぞれ主要成分として、正規分布集団を構成している。

参考文献

- 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) : 大湊海岸・上下浜における海浜底質の粒度組成－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.
- 大森晶衛・星野通平・茂木昭夫 (1970) : 浅海地質学, 東海大出版会.

The profile of the sea bottom and the grain size composition of the sediment on the sea bottom in Jōgehama, Ogata Coast

—— 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

This author has considered the grain size composition of the sediment of the sea bottom, which moved along a natural providence, at Jōgehama's coast. This author has carried out the sounding and the gathering of sediment off of the sea bottom, here, on Aug.6.2001, Sept.20.2002, Aug.23.2003, and Oct.7.2003. This author has carried out sounding, from south west to north east 200m offshore on a measuring line, along the shoreline, and from shoreline to offshore on two measuring lines, each day. Also, this author has carried out the gathering of sediment off of the sea bottom, from the shoreline to offshore, every 1m in depth, at both the central measuring line on the crescent-shaped bar and the jointed measuring line on the crescent-shaped bar, each day. In doing this, this author has considered the changes in the sea bottom profile, and variation from the shoreline to offshore, in the grain size composition of the sediment of the sea bottom. Also, this author has been able to show by means of evidence, that both the sea bottom profiles and the grain size composition of the sediment of the sea bottom, have changed dramatically in the winter season. Furthermore, this author has examined the correlation between the sediment of the sea bottom and the recent coastal sand dune.

Keywords: crescent-shaped bar, nearshore, trough, bar, offshore, recent coastal sand dune