

大潟海岸・四ッ屋浜の観測棧橋跡周辺の
海底地形と海底底質の粒度組成
—主に弧状沿岸砂州において—

Field Observations on Both the Profile and the Grain Size Composition of the Sediment
on the Sea Bottom, Around the Vestige of Observatory Pier, in Yotsuyahama, Ogata Coast.
— As for the Crescent-shaped Bar, Principally —

内山 清

Kiyoshi UCHIYAMA

Synopsis

Ogata Wave Observatory is located in Yotsuyahama coast, Niigata Pref., Japan. Yotsuyahama coast is in the center of Joetsu-Ogata coast. In this region, Katamachi sand dune develops very much, and the sediment in Joetsu-Ogata coast is composed of both sand and gravel. There are several artificial structures like submerged breakwater in Yotsuyahama coast. The coastal area between Naoetsu harbor and Yotsuyahama coast has been suffered from severe beach erosion.

Both sounding and sediment sampling on the sea bottom have been carried out in Yotsuyahama coast on June.28 2008, Oct.15 2009, Mar.1,6 2010, and Aug.17 2010, and Nov.7 2010. The longshore measurement section is about 200m offshore from shoreline, and the cross-shore measurement sections are at the central region and the joint region of a crescent-shaped bar. The sediment sampling has been conducted in the cross-shore measurement sections at interval of 1.0m deep.

It was shown clearly that the existence of Observatory Pier has given the full influence to the sedimentation on the sea bottom. The results of data analyses on both the bottom profile and the grain size composition of the sediment on the sea bottom provide some ideas to understand the reasons for the coastal erosion.

キーワード : 弧状沿岸砂州中心部, 弧状沿岸砂州接合部, トラフ, バー, 極深部, 極浅部

Keywords : central region of a Crescent-shaped bar, jointed region of a Crescent-shaped bar, trough, bar, extremely deep region, extremely shallow region

1. 緒言

京都大学, 大潟波浪観測所の観測棧橋は, 全長約 27km のほぼ直線状の砂・礫海岸の大潟海岸中央部に位置している. 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, 直江津港から北東

側棧橋付近まで海岸侵食が顕著なため, 海浜の消滅に至った. 海岸侵食制御のための人工リーフ (潜堤), 離岸堤, 汀線付近の消波ブロック, 等の既設により, それらに囲まれたなかでの砂・礫収支の安定が近年の示す地形からも微かに見受けられる. このような海岸の様相を呈するなかで, 調査し, 考察するための糧とし

て来た観測栈橋が2008年10月上旬の撤去に至ったのである。

自然の節理に従って、あらゆる要素と緊密にリンクし、そして微妙にバランスをとりながら動作し、また、“ゆらぎ”を伴って“カオス的”に変化するのである。この意味において、人工構造物に挟まれた海岸における海底地形特性と海底底質の粒度組成を“マイクロ”から“マクロ”へと考察し、熟考すべきである。上述の事を確実に実行する事こそが、海岸侵食の原因解明に資するものと考えられる。

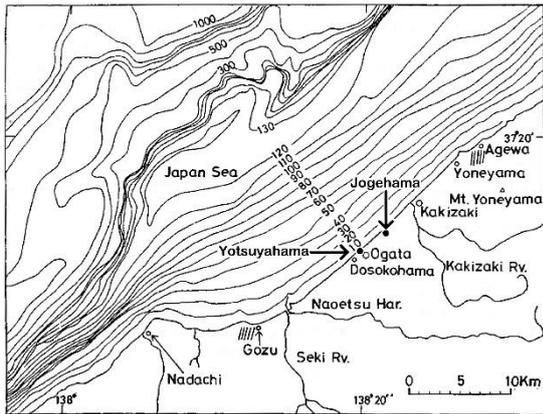


Fig.1 Positional topography of Ogata Coast.

2. 汀線より沖へ約200mの地点で汀線に沿った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, 3) -①に示すように、汀線より沖へ約200mの地点を南西から北東の方向へ、汀線に沿い深淺測量を行なった海底地形である。

この地形・断面形では、谷と山が交互に出現する。弧状沿岸砂州においては、この谷が中心部に、山が接合部にそれぞれ対応し、沿岸流や離岸流に従って南西あるいは北東の方向へ移動するのである。これらに追従して、弧状沿岸砂州中心部が海浜で大カスプの湾入

部に、弧状沿岸砂州接合部が海浜で大カスプの突出部にそれぞれ対応し、対になって移動する事になる。また、海浜での小カスプは、(内山, 2012)に詳述のごとく、形成するのである。上述のように自然の節理に従って、あらゆる要素とリンクし、バランスをとりながら変化するのが理想である。しかし、四ツ屋浜の海岸には海浜が皆無で、誠に残念である。

定点0より南西の方向へ約300m付近から南西側へは人工リーフ(潜堤)、定点0より北東の方向へ約600m付近から北東側へは離岸堤、とそれぞれ既設であって、両側の人工構造物に挟まれた領域である。また、汀線付近には護岸としての消波ブロックが順設してあり、挟まれた領域での調査となった。

前述の意味において、今回は2008年6月28日、2009年10月24日、2010年3月6日、2010年11月7日、の四つの地形・断面形を考察する。

(1) 2008年6月28日の海底地形 (Fig. 4)

この深淺測量の時期は観測栈橋撤去の大体三ヶ月程前で、前述の事象に付加して、栈橋の存在が幾多の自然の節理の変化を阻害している事がわかる。定点0(栈橋中心)より両側へ約50m付近にそれぞれ膨らみがあり、南西からの多量な砂・礫が橋脚により塞き止められるようにして堆積したであろう。定点0より南西側へ約400m付近に山があるようだ(地形図外で、潜堤より沖側近く)。定点0より北東側へ約150m付近に谷があり、定点0より北東側へ約300m付近に山がある。定点0より北東側へ約500m付近に谷があり、定点0より北東側へ約700m付近に山があるようだ(山は離岸堤の沖側近く)。上述から、定点0を一応谷と認定し、この点を通る岸沖方向を弧状沿岸砂州中心部の測線とした。一方、弧状沿岸砂州接合部は、定点0より北東へ約300m付近の山の頂点を通る岸沖方向を測線とした。定点0より北東側へ約150m付近の谷と北東側へ約300m付近の山の比高は約2.2mを示す。なお、定点0より北東側へ約500m付近の谷と北東側へ約700m付近の山は対象外とした。

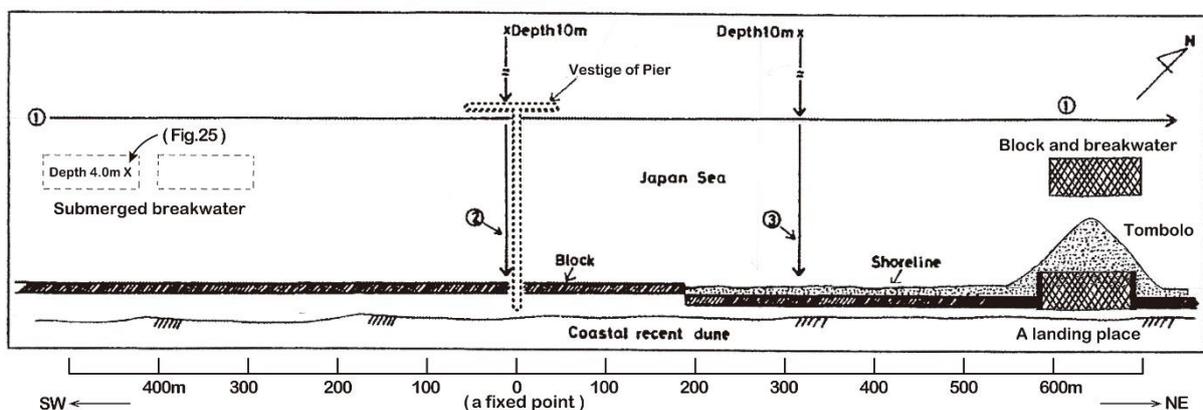


Fig.2 The outline of Yotsuyahama coast.

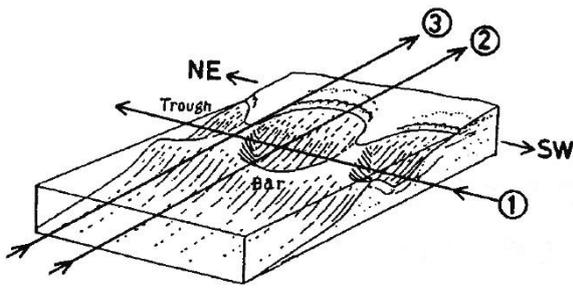


Fig.3 The measuring lines and the model graph, on the crescent-shaped bar.

(2) 2009年10月24日の海底地形 (Fig. 5)

この地形の測定の時期は、観測栈橋撤去後大体一年と20日程経過した頃である。去年、定点0の両側約50m付近にそれぞれ膨らみがあった。今回は、定点0より南西側へ約50m付近で一つに合体し、大きくなって現われた。定点0より南西側へ約450m付近に山がある。しかし、潜堤の沖側近くに位置していて、対象外とする。定点0より北東側へ約80m付近に谷があり、北東側へ約300m付近に山がある。定点0より北東側へ約450m付近に谷がある。定点0の谷を通る岸沖方向を弧状

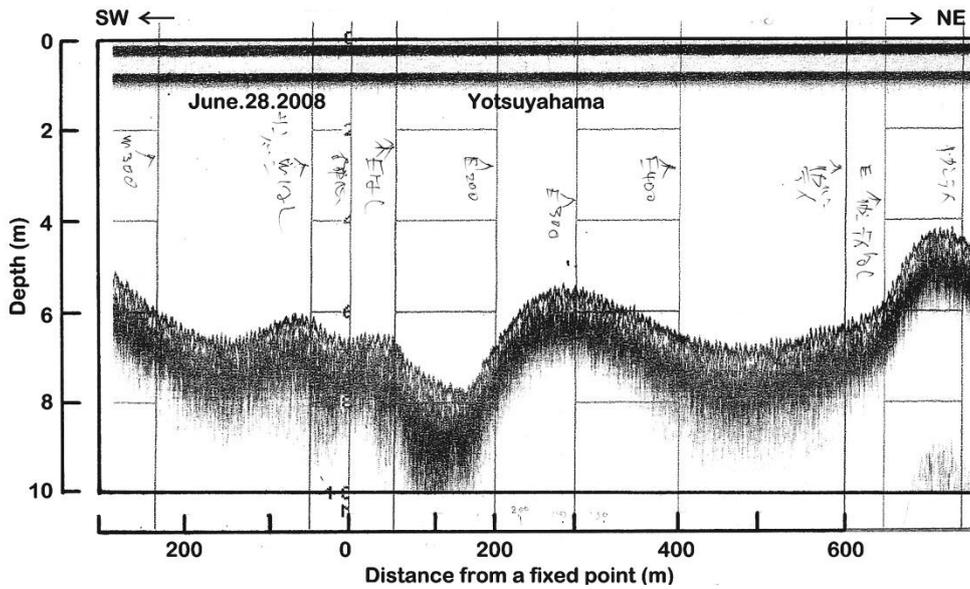


Fig.4 The profile of the sea bottom, from south west to north east, 200m offshore along the shoreline.

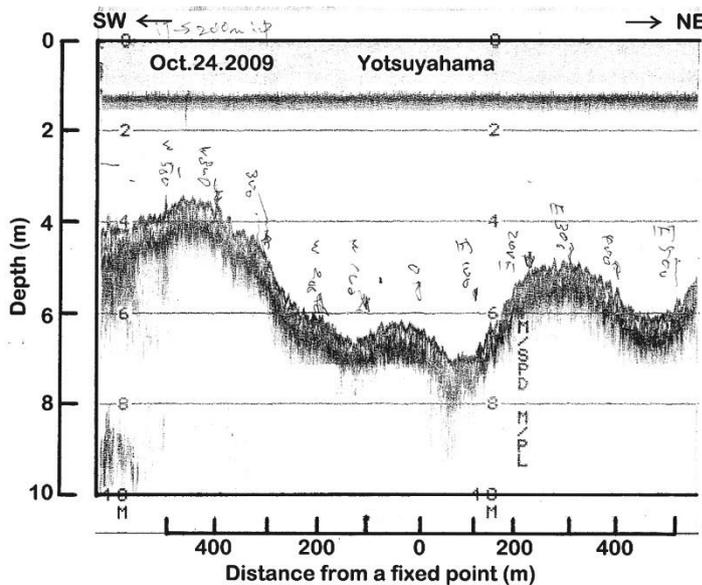


Fig.5 The profile of the sea bottom, from south west to north east, about 200m offshore along the shoreline.

沿岸砂州中心部の測線とし、定点 0 より北東側へ約 300m 付近の山を通る岸沖方向を弧状沿岸砂州接合部の測線とした。観測棧橋撤去で沿岸流、離岸流、それぞれ水の流れを遮る物がなくなり、ある程度自然の節理に従って変化したようだ。全体で、去年のこの地形より約 0.5~1.0m 程水深が浅くなっている。また、局所ごとに去年のこの地形と比較した時に波長がやや短くなり、南西側へ少し移動したように思える。定点 0 より北東側へ約 80m 付近の谷と北東側へ約 300m 付近の山との比高は約 2.2m を示す。

(3) 2010年3月6日の海底地形 (Fig. 6)

去年のこの地形で、定点 0 より南西側へ約 120m 付近～北東側へ約 80m 付近間に厚さ約 0.8m の砂が堆積し、膨らみがあった。また、定点 0 より北東側へ約 80m 付近の谷が、今回の地形には砂の堆積で埋め尽くされてしまった。定点 0 より南西側へ約 80m 付近には前述の膨らみと入れ替わって谷が出現し、約 0.8m の砂が削られた事になる。去年の地形で、定点 0 より南西側へ約 450m 付近に山があった。しかし、今回は、定点 0 より南西側へ約 320m 付近に山が位置し、水深約 5.0m で、去年の

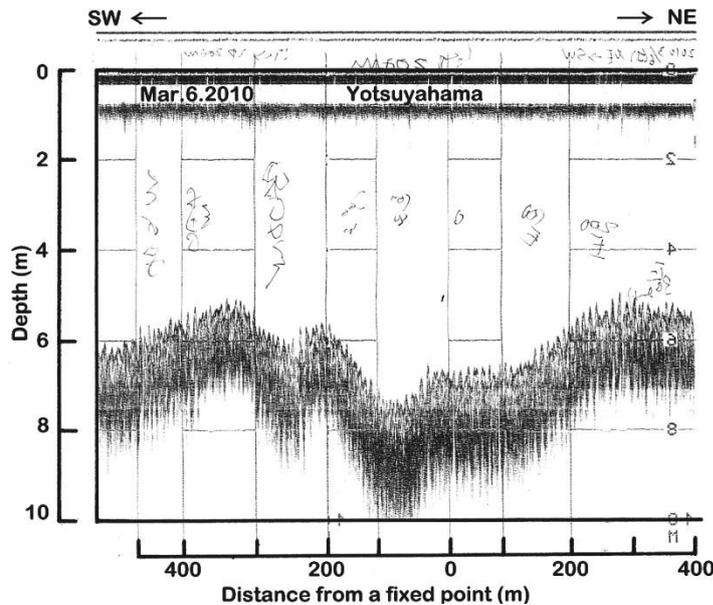


Fig.6 The profile of the sea bottom, from south west to north east, about 200m offshore along the shoreline.

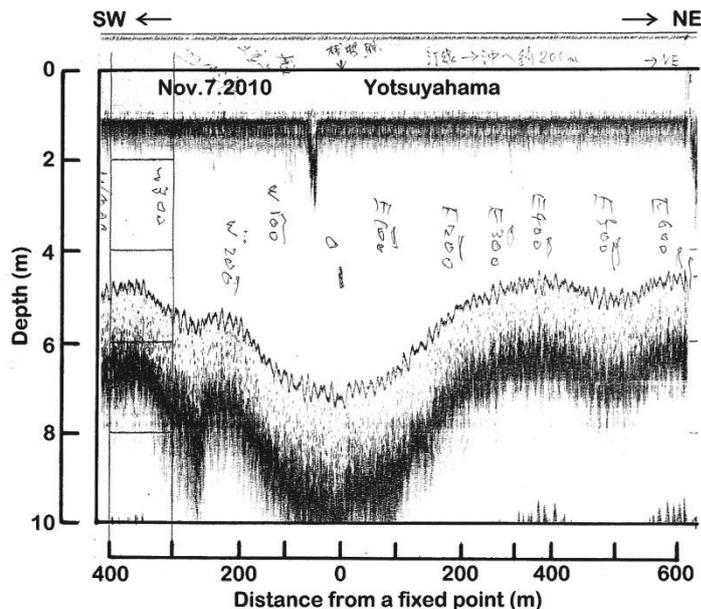


Fig.7 The profile of the sea bottom, from south west to north east, about 200m offshore along the shoreline.

この地形のこの山が北東側へ約 130m 程移動した。この山は、潜堤より沖側すぐ近くに位置する事から、対象外とした。定点 0 より南西側へ約 80m 付近の谷と定点 0 より北東側へ約 300m 付近の山との比高は約 2.2m を示す。定点 0 の位置で岸沖方向を弧状沿岸砂州中心部の測線とし、定点 0 より北東側へ約 300m 付近の山で岸沖方向を弧状沿岸砂州接合部の測線とした。

(4) 2010 年 11 月 7 日の海底地形 (Fig. 7)

本来は底質採取の日の地形を表示すべきであるが、時間と天候の制約で測量ができず、やむをえなく 11 月 7 日の地形を採用した。定点 0 付近に谷があり、水深が約 7.2m を示す。定点 0 より北東側へ約 350m 付近に山があり、その水深が約 4.7m である。両者の比高は約 2.5m を示す。また、谷と山の位置で岸沖方向をそれぞれ、弧状沿岸砂州中心部、接合部の測線とした。定点 0 より南西側へ約 370m 付近の山が、3 月 6 日の地形のこの山より約 50m 程南西側に動き、水深も約 0.2m 程浅くなった。しかし、この山は潜堤の沖すぐ近くに位置し、対象外とした。この地形の測量の時期は夏季の最終に位置し、北東から南西へ向かう沿岸流が盛大に各箇所へ作用した痕跡が如実に現われている。

2.2 岸沖方向の海底地形

(Fig. 2, 3) -②, ③に示すように、弧状沿岸砂州中心部、接合部をそれぞれ Offshore の水深 10.0m (一部 12.0m) から岸へ向かって、Nearshore の水深 3.0m まで深浅測量を行な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 型断面形と言う。

(1) 2008 年 6 月 28 日

Bar 型断面形 (Fig. 8) において、汀線より沖へ約 100m 付近～沖へ約 200m 付近間で約 0.3m 前後の膨らみがあり、多量の砂・礫が堆積している。つまり、この地形の測量時は観測栈橋撤去の三ヶ月程前の頃で、膨らみの範囲も橋脚の岸から 2 基目より 4 基目までである。ただし、1 基は斜杭 3 本となっていて、2 基目、3 基目、4 基目の間隔はそれぞれ 50m である。冬季における南西から北東へ向かう強烈的な沿岸流により、運ばれて来た砂・礫が橋脚によって塞き止められるようにして堆積したようだ。この事象については、この後の粒度組成で詳述する。汀線より沖へ約 200m 付近～沖へ約 350m 付近までなだらかに水深を増して行き、水深が 9.0m に達し、Trough (底) となる。汀線より沖へ約 350m 付近～沖へ約 450m 付近まで急激に水深が浅くなり、水深 6.0m の Bar (Top) に行き着く。汀線より沖へ約 450m 付近～沖へ約 650m 付近まで湾曲に落ちて行き、水深 10.0m の Offshore に到達する。Trough (底) と Bar (Top) の比高は約 3.0m を示す。

Step 型断面形 (Fig. 9) において、汀線より沖へ約

100m 付近～沖へ約 300m 付近間は緩やかな角度で落ちて行き、水深 7.0m の極深部に着く。汀線より沖へ約 300m 付近～沖へ約 400m 付近まで急激に浅くなって行き、水深 5.0m の極浅部に到達する。汀線より沖へ約 400m 付近～沖へ約 670m 付近まで緩やかな角度で下って行き、水深 10.0m の Offshore に達する。極深部と極浅部の比高は約 2.0m である。

(2) 2009 年 10 月 15 日

Bar 型断面形 (Fig. 10) において、汀線より沖へ約 50m 付近～沖へ約 350m 付近まで緩やかに湾曲しながら水深を増して行き、水深 9.0m の Trough (底) に達する。汀線より沖へ約 350m 付近～沖へ約 450m 付近まで急な角度で上って行き、水深 7.0m の Bar (Top) に到達する。汀線より沖へ約 450m 付近～沖へ約 660m 付近まで緩やかに湾曲しながら落ちて行き、水深 10.0m の Offshore に着く。Trough (底) と Bar (Top) の比高は約 2.0m を示す。

Step 型断面形 (Fig. 11) において、汀線付近～汀線より沖へ約 230m 付近まで“緩やか”から“急に”とこの中間付近で角度を切り替えながら落ちて行き、水深 6.2m の極深部に着く。汀線より沖へ約 230m 付近～沖へ約 350m 付近まで“弧”を描くような型で上って行き、水深 4.2m の極浅部に到達する。ここで、2008 年 6 月 28 日のこの地形と比較する事にする。極深部の幅が狭く、一方極浅部の幅が広がって、去年のこの地形とそれぞれ逆の関係になっている。極深部が沖から、あるいは、横からの砂の供給で埋め尽くされ、約 0.6m 程水深が浅くなると共に、汀線に約 70.0m 程近付いた。一方、極浅部は沖側からの多量の砂の供給により幅が広く、水深も約 0.6m 浅くなると共に、汀線に約 20.0m 程近付いた。前回 (2016, 内山) 上下浜の地形のように棚状化し、徐々に、汀線に近付く事になるだろう。この事象については、後の粒度組成で詳述する。汀線より沖へ約 350m 付近～沖へ約 720m 付近まで緩やかに湾曲しながら水深を増して行き、水深 10.0m の Offshore に着く。水深 10.0m の Offshore の位置は、去年のこの位置に比べ約 60m 程汀線から沖側へ離れた。極深部と極浅部の比高は約 2.0m を示す。

(3) 2010 年 3 月 6 日

Bar 型断面形 (Fig. 12) において、汀線付近～汀線より沖へ約 80m 付近間は、急激に落ち込んで行って水深 4.0m に着く。汀線より沖へ約 80m 付近～沖へ約 250m 付近間は緩やかに落ちて行き、水深 7.5m に達する。汀線より沖へ約 250m 付近～沖へ約 400m 付近間には約 0.3m 前後の膨らみがあり、多量の砂・礫が堆積したようだ。膨らみの沖側には水深 9.0m の Trough (底) が現われる。この地形の測量時は冬季の後半に位置し、南西から北東へ猛烈な勢いで流れる沿岸流によって

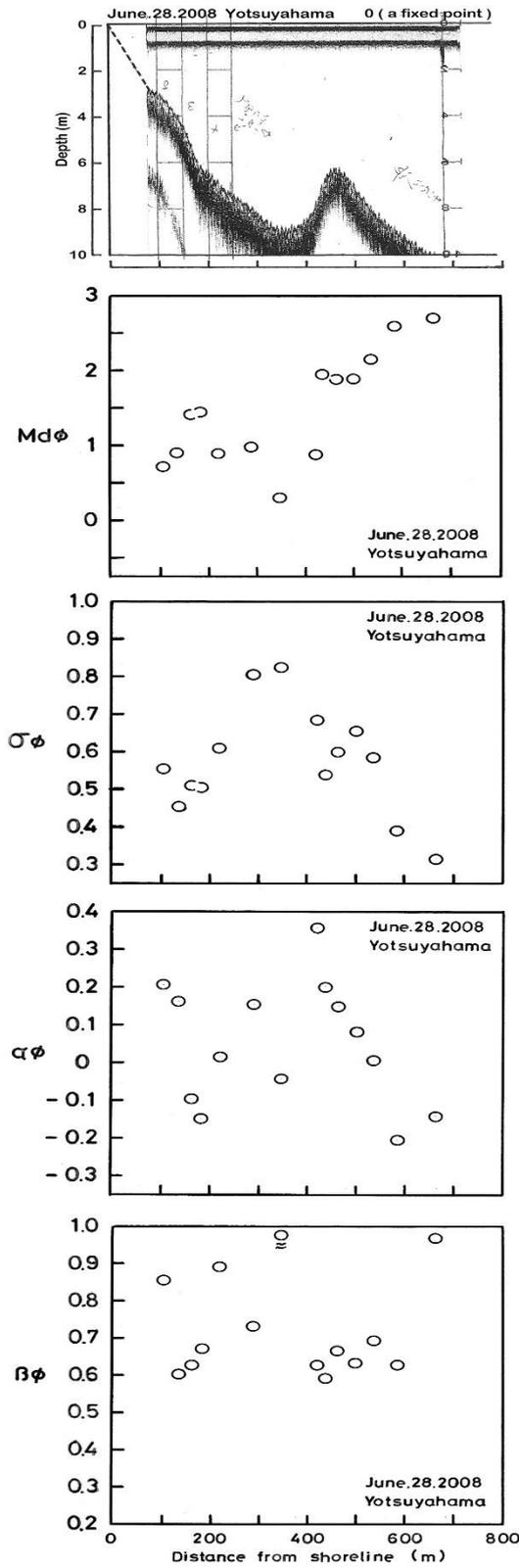


Fig.8 The profile of the sea bottom, from shoreline to offshore, and each distributions of those grain size characteristics of the sediment on the sea bottom. At the central measuring line on the crescent-shaped bar.

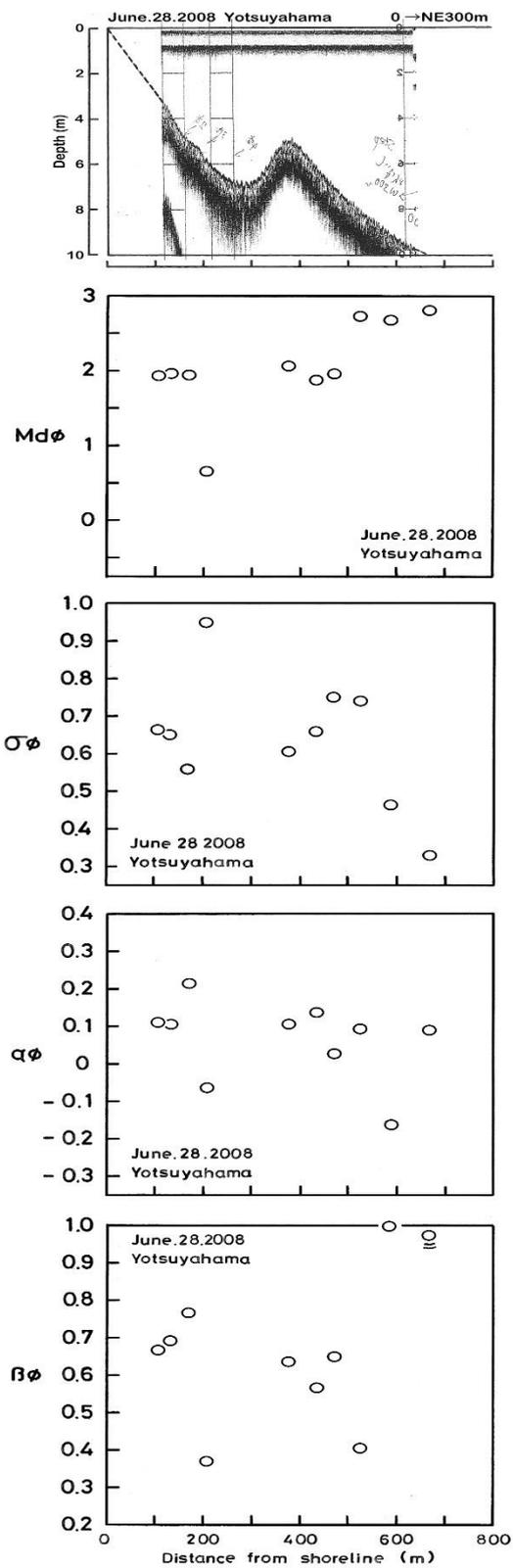


Fig.9 The profile of the sea bottom, from shoreline to offshore, and each distributions of those grain size characteristics of the sediment on the sea bottom. At the jointed measuring line on the crescent-shaped bar.

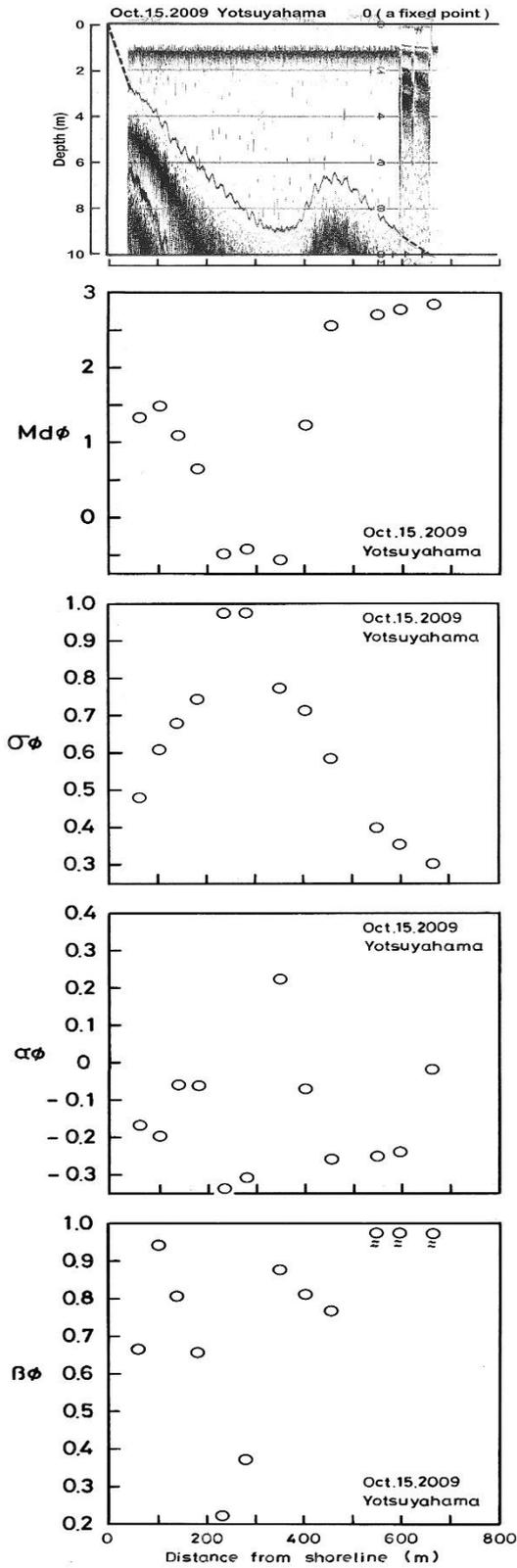


Fig.10 The profile of the sea bottom, from shoreline to offshore, and each distributions of those grain size characteristics of the sediment on the sea bottom. At the central measuring line on the crescent-shaped bar.

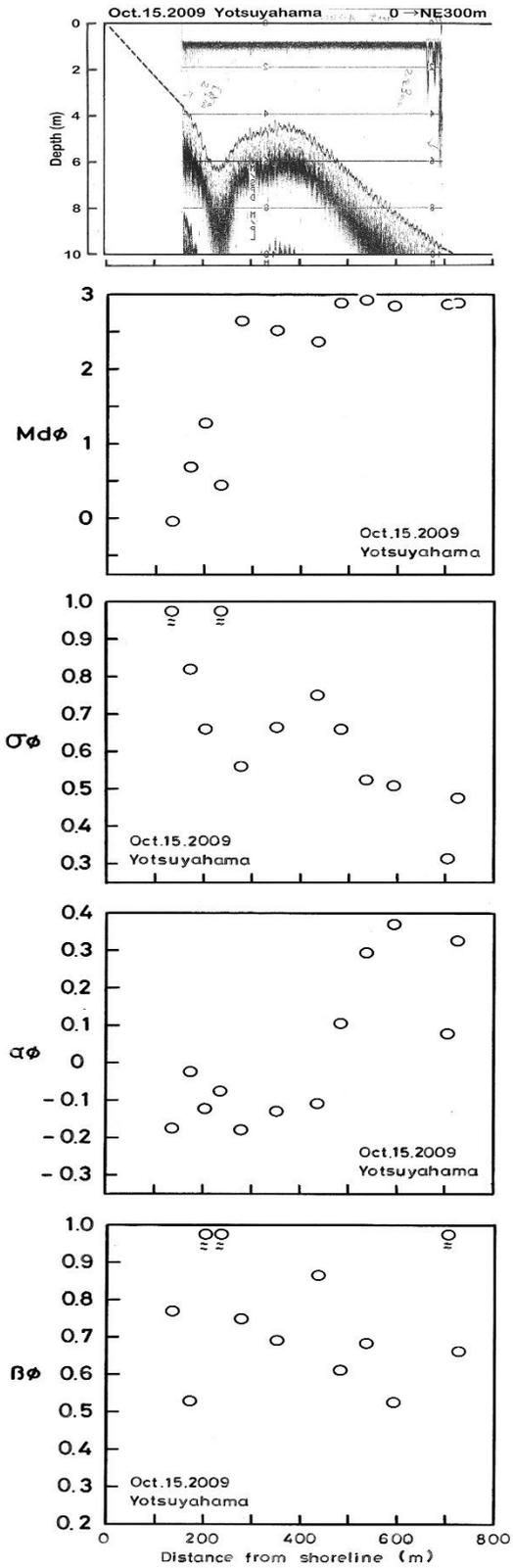


Fig.11 The profile of the sea bottom, from shoreline to offshore, and each distributions of those grain size characteristics of the sediment on the sea bottom. At the jointed measuring line on the crescent-shaped bar.

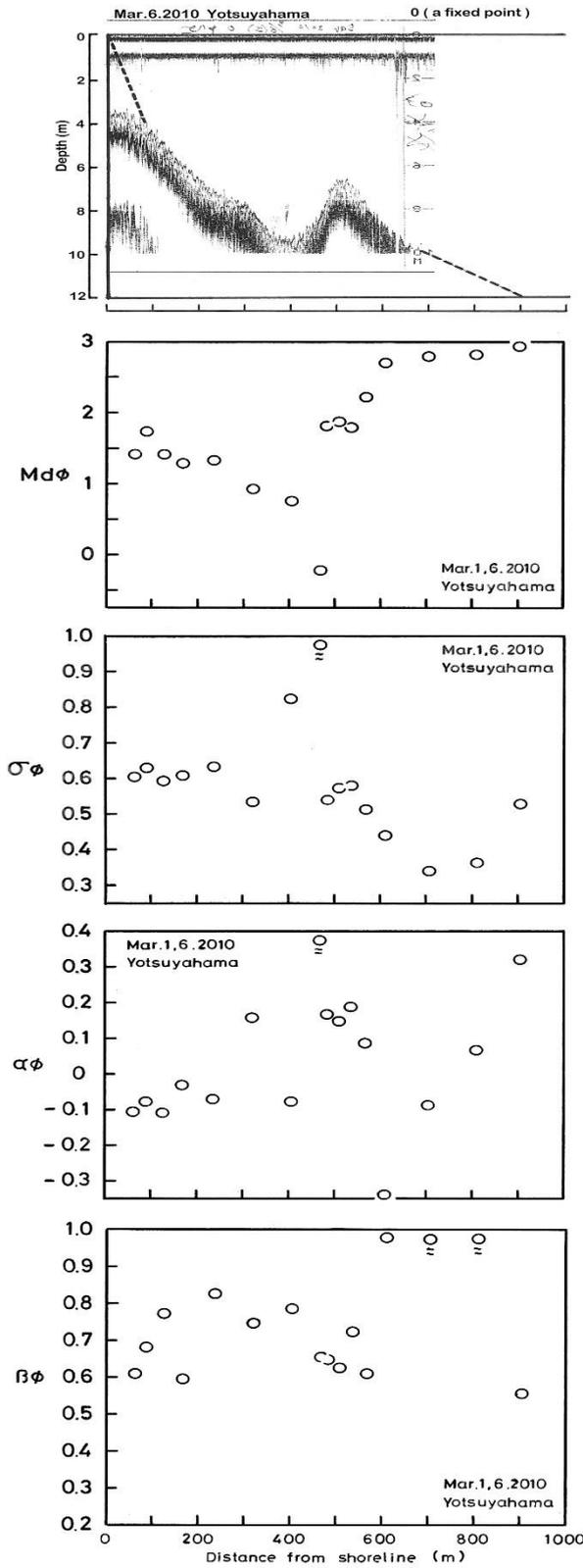


Fig.12 The profile of the sea bottom, from shoreline to offshore, and each distributions of those grain size characteristics of the sediment on the sea bottom. At the central measuring line on the crescent-shaped bar.

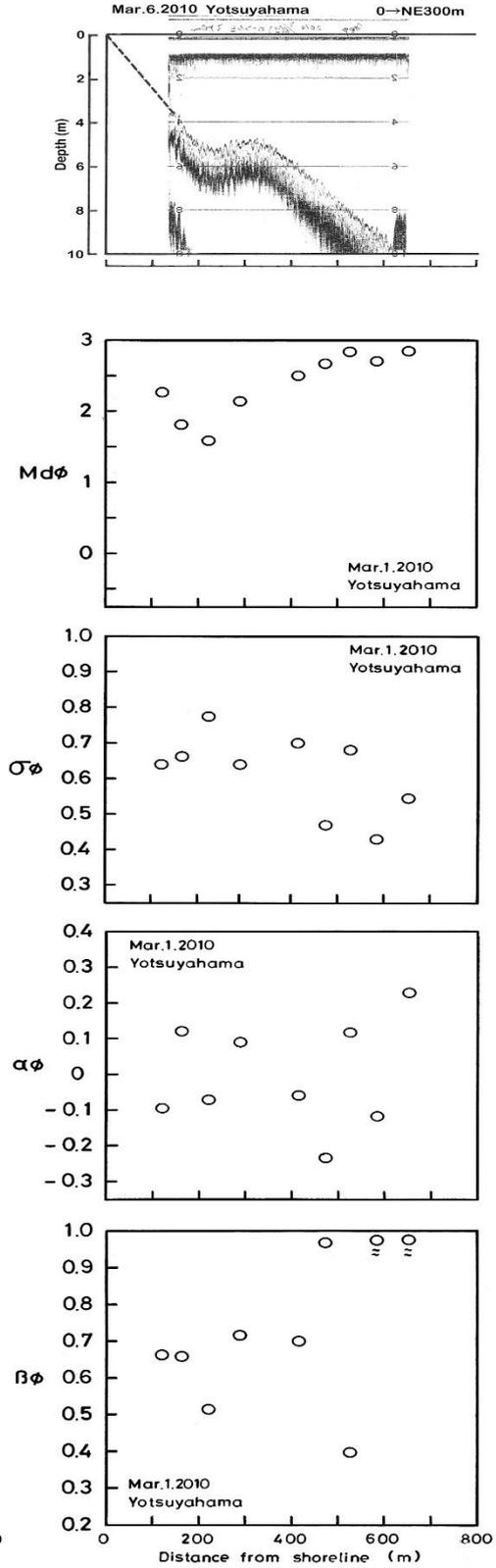


Fig.13 The profile of the sea bottom, from shoreline to offshore, and each distributions of those grain size characteristics of the sediment on the sea bottom. At the jointed measuring line on the crescent-shaped bar.

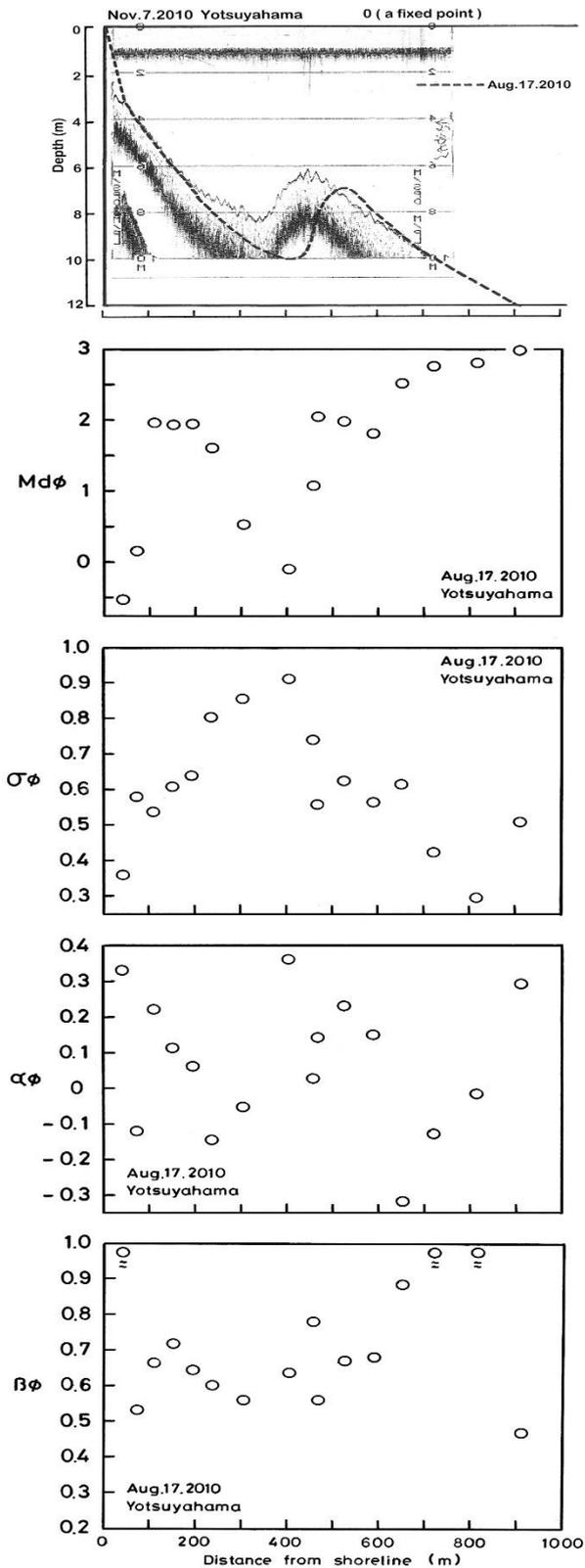


Fig.14 The profile of the sea bottom, from shoreline to offshore, and each distributions of those grain size characteristics of the sediment on the sea bottom. At the central measuring line on the crescent-shaped bar.

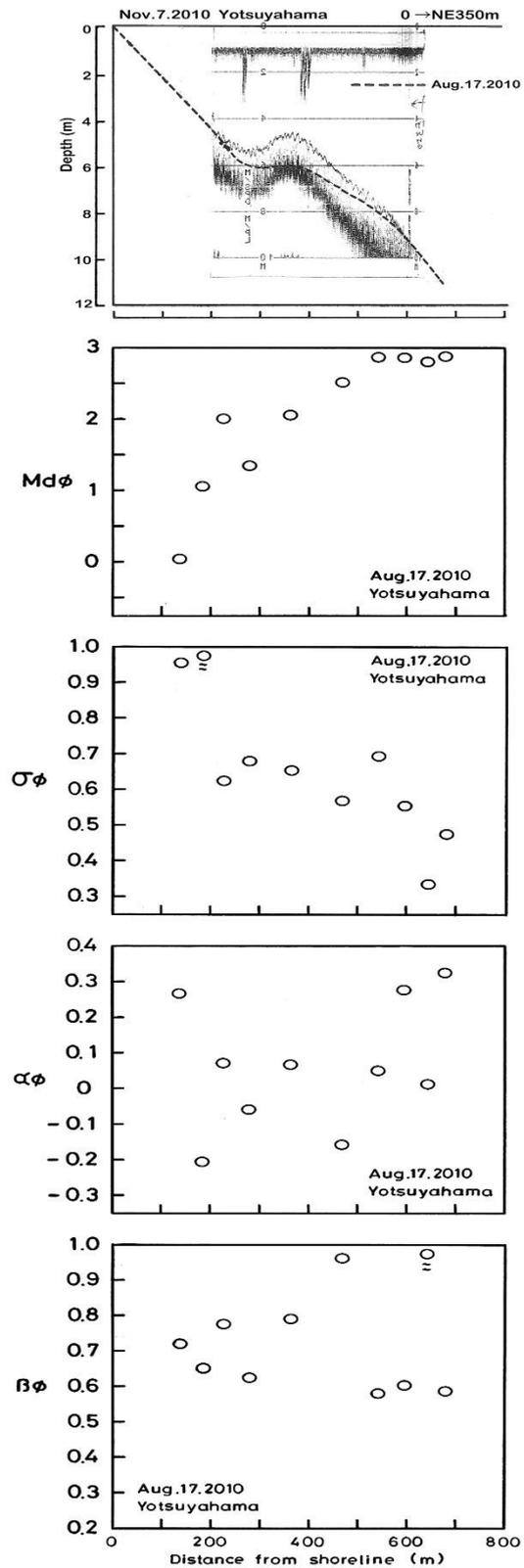


Fig.15 The profile of the sea bottom, from shoreline to offshore, and each distributions of those grain size characteristics of the sediment on the sea bottom. At the jointed measuring line on the crescent-shaped bar.

運ばれ、これに強烈な離岸流も付加して、この位置に多量な砂・礫が堆積したのである。汀線より沖へ約400m 付近～沖へ約500m 付近間は急な角度で上って行き、水深6.5mのBar (Top) に到達する。汀線より沖へ約500m 付近～沖へ約900m 付近間は、緩やかに湾曲しながら落ちて行き水深12.0mのOffshoreに着く。Trough (底) とBar (Top) と水深10.0mの位置については、2009年10月15日のこの地形にそれぞれ比較して約50.0m程沖側へ移動している。この事象と、汀線より沖へ約250m 付近～沖へ約400m 付近間に多量な砂・礫が堆積した事象と合わせて考察するに、猛烈に発達した離岸流が作用した事実が、かいま見えて来る。ただし、水深11.0mと12.0mは底質採取時の際にレッドで測深した値で、点線の地形はBar (Top) と水深10.0mの地形を延長し、決めた。Trough (底) とBar (Top) の比高は約3.0mを示す。

Step型断面形 (Fig. 13) において、汀線付近～沖へ約230m 付近まで緩い角度で落ちて行き、水深5.3mの極深部に着く。汀線より沖へ約230m 付近～沖へ約320m 付近まで微妙に水深を減じ、水深4.8mの極浅部にたどり着く。ここで去年、2009年10月15日のこの地形の極深部、極浅部とそれぞれ比較してみると、位置は変わらない。水深がそれぞれ約0.9m浅く、約0.6m深くなった。つまり、汀線より沖へ約180m 付近～沖へ約350m 付近までの約170m間を岸から沖へ向かって“Sの文字”を横にしたような状態で、水深5.0mを軸にして約0.2～0.3mの範囲で水深を増減している。ちょうど“棚”を思わせるようだ。従って、極深部と極浅部の比高は約0.5mとなる。上の事象については、この後の粒度組成で詳述する。汀線より沖へ約320m 付近～沖へ約640m 付近まで、なだらかに弧を描くように落ちて行き、水深10.0mのOffshoreに着く。去年のこの地形の水深10.0mの位置に比較して約80m程汀線に近付いた事になる。

(4) 2010年11月7日

Bar型断面形 (Fig. 14) において、海底底質採取の際、深浅測量ができず、この地形がない。2010年3月6日の地形と類似性の高い可能性がある事から、この地形を基本に、底質採取時にレッドで測量の水深を点線で、参考の2010年11月7日に測量の地形の上に描いた。汀線付近～沖へ約40m 付近まで急な角度で落ちて行き、水深3.0mとなる。汀線より沖へ約40m 付近～沖へ約400m 付近まで緩やかに湾曲しながら落ちて行き、水深10.0mのTrough (底) に着く。汀線より沖へ約400m 付近～沖へ約520m 付近まで、急傾斜で上って行き水深7.0mのBar (Top) に到達する。汀線より沖へ約520m 付近～沖へ約900m 付近まで穏やかに湾曲しながら落ちて行き、水深12.0mのOffshoreに達する。

位置については、2010年3月6日に測量の地形に類似して、Trough (底) とBar (Top) の比高は約3.0mを示す。

Step型断面形 (Fig. 15) において、点線の地形は前述のBar型断面形と全く同様な手法で描いた。汀線付近～沖へ約270m 付近まで緩やかな傾斜で下って行き、水深6.0mの極深部らしき箇所に着く。汀線より沖へ約270m 付近～沖へ約380m 付近まで、約110m間を微妙に水深6.0mを維持しながら極浅部らしき箇所に着く。汀線より沖へ約380m 付近～沖へ約680m 付近まで緩やかに弧を描くように下って行き、水深11.0mのOffshoreに達する。位置については、先述のごとく去年のこの地形と変わらない。比高は全然なく、棚状化している事がわかる。

3. 海底底質の粒度組成 (弧状沿岸砂州中心部と接合部を通る測線において)

3.1 海底底質採取とそれらの粒度分析

観測用栈橋は、2008年9月下旬から10月上旬にかけて撤去となった。この撤去の三ヶ月くらい前の6月28日に底質採取を行ない、撤去後一年と10日くらい経過した時点での底質採取を行なった事で、どのように栈橋の影響を受けて、粒度組成がどのような傾向で変化して行くのか、解明できるのではないかと。2010年には、3月1,6日と8月17日に底質採取を行ない、底質採取時期が冬季の終盤と夏季の真最中である事から、上述のテーマと合わせて冬季から夏季への粒度組成の変化が明瞭に解明できるのではないかと。

上述の事象をもとに、船の上から重いエクマンバージ採泥器を何回となく上げ、下ろしする事で達成した。このように重労働のため、弧状沿岸砂州中心部、接合部を通る岸沖方向のそれぞれ2測線で採取し、1測線の採取地点を10点前後にした。上述の条件で、採泥器により一定量採取した試料を自然乾燥し、均質に処理して、1/4φ間隔の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なった。下述になるが、構成正規分布集団による解析には、精度の高い粒度分析が要求され、最高な技法がなければできない技である。

また、以下において、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) 2008年6月28日

弧状沿岸砂州中心部の測線 (Fig. 8) において、 $Md\phi$ は、汀線より沖へ約100mの地点～沖へ約200mの地点間で0.70～1.50φの値を示し、中砂に極めて近い粗砂と

中砂で組成する。この区間の Nearshore では、先述の様な海底地形の様相で砂が堆積した。定点 0 より南西側へ約 450m 付近で、人工リーフ（潜堤）の上部、およびその沖側近傍の砂の $Md\phi$ は 1.01 ϕ である。また、この砂の構成正規分布集団の解析では、 $Md\phi$ が 0.81 ϕ の粗砂が 63.5%、1.47 ϕ の中砂が 35.7% で集団を構成している（後述の構成正規分布集団の解析で示す）。上述のように、両者の砂の $Md\phi$ が類似している事、および砂の集団を構成する頻度が類似している事等から、潜堤の上およびその沖側近傍に堆積している砂が猛烈に発達した南西から北東へ向かう沿岸流によって運ばれて来て、橋脚に塞き止められるように堆積した事が明白となった。汀線より沖へ約 200m の地点～沖へ約 425m の地点間で 0.25～1.00 ϕ の値を示し、粗砂と中砂に極めて近い粗砂で組成する事になる。この区間も上述のような様相で堆積となったが、Trough（底）の位置の砂は一段と分級作用を受けて粗粒化した。汀線より沖へ約 425m の地点～沖へ約 675m の地点間で 1.85～2.75 ϕ の値を示し、細砂に極めて近い中砂と細砂の組成である。この区間は、Bar（Top）とその前後および Offshore にあたり、橋脚から離れている事から、猛烈に発達した南西から北東へ向かう沿岸流および離岸流が卓越した分級作用を加え一段と細粒化した。全体的な傾向として、“Nの文字”のような形状で右肩上がりの細粒化を示す。

$\sigma\phi$ は、汀線より沖へ約 100m の地点～沖へ約 200m の地点間の Nearshore の 4 丸で、沖へ微少なながら値が小さくなり、淘汰を良くしている。汀線より沖へ約 200m の地点～沖へ約 425m の地点間は、海底地形の中で唯一堆積場の Trough（底）とその前後に位置している。沖へ向かうに従って急に値が大きくなり、Trough（底）でこの測線の頂点とし、この沖側の丸の値が小さくなって行く。汀線より沖へ約 425m の地点～沖へ約 675m の地点間で、沖へ向かうにつれて順次値が小さくなって行き、淘汰が良くなっている。全体的に、Trough（底）を頂点とする山型の傾向を示す。この原理はと言うと、水深 3.0m から頂点の Trough（底）まで主要成分が順次粗粒化して行くにつれて、累積曲線上の 16%と 84%にそれぞれ対応する二つの ϕ 値間（ $\sigma\phi$ の 2 倍）が徐々に広がって行くにつれて、この二つの%間の曲線の傾斜角度（増加率、接線の微分係数の平均）も緩やかになる。次に頂点の位置から水深 10.0m の Offshore まで主要成分が徐々に細粒化するにつれて累積曲線上の 16%と 84%にそれぞれ対応する二つの ϕ 値間（ $\sigma\phi$ の 2 倍）が徐々に狭くなる。この二つの%間の曲線の傾斜角度（増加率、接線の微分係数の平均）も沖へ位置の移動につれて徐々に急になって行く。

$\alpha\phi$ は、この測線全体で 14 丸のうち、5 丸が負に、

9 丸が正にそれぞれシフトしている。汀線より沖へ約 150m の地点～沖へ約 200m の地点間の負にシフトの 2 丸は栈橋の橋脚により塞き止められて堆積した砂で、南西から北東へ向かう沿岸流で運ばれた砂より、北東から南西へ向かう沿岸流で運ばれた砂の方が粗粒側へ微少優勢に堆積し、混合したようだ。汀線より沖へ約 350m の地点付近の Trough（底）の 1 丸は、この測線一番の堆積場である事から、粗粒側へ優勢に分級作用を受けて堆積し、負にシフトした。水深 9.0m、10.0m では、Nearshore に多量堆積している粗粒成分（礫含む）が猛烈に発達した離岸流によって少量あるいは微量だけ運ばれ、固くしまった細粒な砂の上を浮力も手伝って“ころころ”と転がって行って堆積し、混合したようだ。このように、負側に、あるいは正側に、とそれぞれシフトするのは、主要成分より粗粒な、あるいは細粒な少量あるいは微量が累積曲線上で 16%と 84%のそれぞれ二つに対応する ϕ 値より粗粒側、あるいは細粒側に、その相対する“tail”より微少たりとも長い事で $M\phi$ （平均粒径）の値に大きく反映する。前述の事象から、 $M\phi$ が $Md\phi$ より小さいか、あるいは大きいかにより、負あるいは正にシフトするのか決まり、また、その頻度も決まる。

$\beta\phi$ は、水深 3.0m の地点から Trough（底）まで、と Trough（底）沖側近傍の地点から水深 10.0m の地点までの両区間において、沖へ向かってそれぞれ二段に分かれ、右肩上がり値が大きくなっている。 $\sigma\phi$ と逆相関が常道の傾向の域を全く逸脱してしまった。前の区間は橋脚により塞き止められて堆積した砂・礫で、全く水の流れの作用を受けていないようだ。また、後区間は、離岸流による多大な分級作用を受けて堆積し、混合した。上述の事象から考えるに、前区間で、累積曲線上の 16%と 84%にそれぞれ対応する ϕ 値間（ $\sigma\phi$ の 2 倍、主要成分）が位置の沖側へ移動に伴ない増加率（接線の微分係数の平均）も低下し、同時に ϕ 値間も広がる。それと同時に、5%と 16%にそれぞれ対応する ϕ 値間、と 84%と 95%にそれぞれ対応する ϕ 値間、の両端に存在する二つの ϕ 値間の増加率（接線の微分係数の平均）は、位置の沖側へ移動に伴ない主要成分のそれより大きく低下し、二つの ϕ 値間の和が大きく広がるからである。後区間では、主要成分の存在する ϕ 値間（ $\sigma\phi$ の 2 倍）は沖側の位置へ移るにつれ増加率（接線の微分係数の平均）が上がり、狭くなって行く。一方、割られる側の累積曲線上で両端に存在する二つの ϕ 値間は、沖側の位置へ移るにつれ増加率（接線の微分係数の平均）がそれぞれ下がり、二つの ϕ 値間の和も広がり易い。前述の事象と合わせて $\beta\phi$ の傾向となるのである。

弧状沿岸砂州接合部の測線（Fig. 9）において、 $Md\phi$

は、汀線より沖へ約 100m の地点～沖へ約 180m の地点間の 3 丸で 1.90～2.00 ϕ の値を示し、細砂に極めて近い中砂で組成する。汀線より沖へ約 200m の地点付近の 1 丸が 0.66 ϕ の値を示し、中砂にやや近い粗砂で組成している。汀線より沖へ約 350m の地点～沖へ約 500m の地点間の 3 丸で 1.85～2.10 ϕ の値を示し、中砂に極めて近い細砂と細砂に極めて近い中砂で組成となる。汀線より沖へ約 500m の地点～沖へ約 680m の地点間の 3 丸で 2.60～2.85 ϕ の値を示し、微砂に極めて近い細砂で組成となっている。この測線全体が極度に細粒化した事がわかる。これに反して、汀線より沖へ約 200m の地点付近の水深 6.0m の 1 丸だけが粗粒化となった。中心部の測線の Nearshore から Trough (底) 沖側斜面近傍にかけて、この 1 丸と類似な Md ϕ が粗砂で組成している。栈橋の橋脚により塞き止められた砂・礫が運ばれて来て、この地点の小さな膨らみの箇所に堆積したに違いない。しかし、極深部とその沖側近くには試料がなく大変残念である。底質を採取した時期は夏季の入り口のような頃で、この測線に堆積している砂は、冬季に発生し発達する沿岸流や離岸流によって運ばれて来て堆積したようだ。要は、南西から北東へ向かって流れる沿岸流で、流れの上手側に位置する弧状沿岸砂州中心部を通る測線の観測栈橋沖において、沿岸流と離岸流のベクトルの合成が起こり、北へ進む。弧状沿岸砂州岸側斜面の縁に沿って回り込むように砂を運び、この測線には迫り上がるようにして細粒な砂を堆積し、混合したようだ。

$\sigma \phi$ は、汀線より沖へ約 100m の地点～沖へ約 180m の地点間の 3 丸で、岸側から沖側へ向かって値が小さくなって行き、淘汰を良くしている。汀線より沖へ約 200m の地点付近の 1 丸のみ、急に値を大きくし、淘汰が悪くなった。つまり、前述の Md ϕ で詳述のような経過をたどり、この位置に堆積し、粗粒化したのである。この事象により、累積曲線上の 16% と 84% に対応する二つの ϕ 値が、中砂から極粗砂に、と細砂から中砂に、それぞれ粗粒側に移動した。この事象に伴ない、この ϕ 値間 ($\sigma \phi$ の 2 倍、主要成分) の増加率 (接線の微分係数の平均) が下がって間隔が広がり、 $\sigma \phi$ の値が大きくなった。汀線より沖へ約 350m の地点～沖へ約 680m の地点間は、汀線より沖へ約 470m の地点付近の水深 7.0m の丸を頂点とする“山型”の形状で変化する。汀線より沖へ約 200m の地点付近で水深 6.0m の丸を除く全体の傾向は、“N の文字”を裏返したような形状で変化している。

$\alpha \phi$ は、この測線全体が細粒化した事により、ほとんどが正にシフトし、常道となった。しかし、全体が 10 丸のうち 2 丸のみが負にシフトし、逸脱した。負にシフトした二つの丸のうち一つは、汀線より沖へ約

200m の地点付近の水深 6.0m の位置である。Md ϕ で詳述のような堆積の仕方をした。この事象から $\sigma \phi$ で詳述のように、累積曲線上の 16% と 84% に対応する二つの ϕ 値が粗粒化に伴ない、粗粒側へそれぞれ移動となる。勿論、Md ϕ も粗粒側へ移動となるが、16% に対応する ϕ 値付近の曲線の増加率 (接線の微分係数の平均) が 84% に対応する ϕ 値付近の曲線の増加率 (接線の微分係数の平均) より下がる頻度が大きい。結局、粗粒側の“tail”が細粒側のそれより微少たりとも長くなり、M ϕ が Md ϕ より粗粒側に位置する事で、負にシフトした。もう一つの負にシフトする丸は、水深 9.0m の Offshore の位置である。冬季に、南西から北東へ向かう沿岸流とこの沿岸流の上手側隣りの中心部の測線の流れ下る離岸流が猛烈に発達し、観測栈橋沖でベクトルの合成が起こり真北へ、弧状沿岸砂州の岸側縁を回り込むように砂・礫を運びながら進む。その際、水の流れが勢い余ってインボリュート現象を起こし、低くなりかけた砂州の頂上を飛び越して、粗粒成分を少量あるいは微量運ぶ。微砂か、あるいはこれに極めて近い細砂の堆積で、堅くしまった砂の上を浮力も手伝って“ころころ”と転がって行き、この位置に堆積し混合となった。この少量あるいは微量の粗粒成分が累積曲線上の粗粒側の“tail”を細粒側のそれよりも微少たりとも長くさせ、M ϕ が Md ϕ を飛び越して粗粒側へ行き、負にシフトした。

$\beta \phi$ は、汀線より沖へ約 100m の地点～沖へ約 180m の地点間の 3 丸が沖側へ移るにつれ、右肩上がりで値が大きくなる。汀線より沖へ約 200m の地点付近の水深 6.0m の 1 丸は急に値が小さくなっている。Md ϕ 、 $\sigma \phi$ 、 $\alpha \phi$ で詳述のような事象が起こり、累積曲線上で割る側の 16% と 84% にそれぞれ対応する ϕ 値間 ($\sigma \phi$ の 2 倍) が広がる。一方、割られる側の 5% と 16% にそれぞれ対応する ϕ 値間、84% と 95% にそれぞれ対応する ϕ 値間、二つの ϕ 値間の和が狭まる。よって、この商として $\beta \phi$ の値が小さくなった。汀線より沖へ約 350m の地点～沖へ約 550m の地点間の 4 丸で、岸側の 2 丸と沖側の 2 丸がそれぞれ右肩下がりに沖側へ向かって値を小さくして。汀線より沖へ約 550m の地点～沖へ約 700m の地点間の 2 丸は、右肩上がりで沖側へ向かって値が大きい。区間ごと、あるいは 1 丸ごとにそれぞれ $\sigma \phi$ の傾向や値と比較した時、逆相関している事がわかる。いずれも Md ϕ 、 $\sigma \phi$ 、 $\alpha \phi$ のそれぞれ微妙な変化の仕方によって $\beta \phi$ が変化するのである。

(2) 2009 年 10 月 15 日

弧状沿岸砂州中心部の測線において (Fig. 10)、Md ϕ は、汀線より沖へ約 50m の地点～沖へ約 200m の地点間の Nearshore の 4 丸で 0.6～1.5 ϕ の値を示し、粗砂と中砂で組成する。汀線より沖へ約 200m の地点～沖へ

約 350m の地点間の Trough (底) とその岸側近傍の 3 丸で $-0.6 \sim -0.4 \phi$ の値を示し、極粗砂で組成となる。この測線の底質採取時期は観測棧橋撤去後ちょうど一年経過した頃である。このため南西および北東の両方向からの沿岸流、および離岸流とのベクトルの合成も自然の節理に従って行なわれた事だろう。前区間の Nearshore では塞き止める原因となる物がなくなり、冬季の南西から北東の方向へ流れる沿岸流によって粗砂・中砂の混合砂が運ばれて来て堆積する。しかし、水深 3.0m, 4.0m 付近の Nearshore に僅かな膨らみがあり、また、前回 (2008 年 6 月 28 日) のこの測線の Nearshore と粒度組成が類似している。これらの事象から、橋脚により塞き止められていた砂・礫が残留していたのではないか。後区間の Trough (底) とその岸側近傍の 3 丸は、夏季による北東から南西の方向へ流れる沿岸流によって極粗砂および、それよりもっと粗粒な砂・礫、細粒な砂、が運ばれて来て堆積し、混合となったようだ。Nearshore から Trough (底) まで、岸から沖側へ向かって順次きれいに粗粒化して行き、定石どおりの粒度組成になった。汀線より沖へ約 400m の地点～沖へ約 680m の地点間において、岸側の 2 丸は Bar (Top) 岸側斜面と Bar (Top) の位置を表わすが、 1.23ϕ から 2.56ϕ へと急傾斜の右肩上がりで細粒化した。上述のような事象となるのは、堆積場である Trough (底) から、冬季に猛烈な発達をする離岸流により細粒側へ分級作用を加えながら斜面を迫り上がるようにして砂を運び、堆積したようだ。沖側 3 丸は Bar (Top) 沖側斜面と Offshore の位置で、岸側からの関与がないまま緩やかに沖へ向かって、 2.71ϕ から 2.85ϕ と細粒化して行っている。全体の傾向は、Trough (底) の位置を最低点とする“V字型”の形状を示す。

$\sigma \phi$ は、汀線より沖へ約 50m の地点～沖へ約 250m の地点間において、岸から沖へ向かって順次値が大きくなって行く右肩上がりである。汀線より沖へ約 250m の地点～沖へ約 680m の地点間で岸側から沖へ向かって順次値が小さくなって行っている。Trough (底) 岸側近傍の水深 7.0m の丸を頂点とする“山型”の形状できれいな傾向を示す。観測棧橋撤去により、水の流れを遮る物がなくなったため、沿岸流や離岸流が自然の節理に従って順次分級作用を加えて行った事だろう。前述の $Md \phi$ の傾向と完全に逆相関している。見方を変えて累積曲線上では、水深 3.0m の丸から Trough (底) 岸側近傍の水深 7.0m の丸まで、沖側の位置へ移るにつれ、16%と 84%に対応するそれぞれの ϕ 値が粗粒側へ順次移動に伴ない、その ϕ 値間 ($\sigma \phi$ の 2 倍) も徐々に広がって行く。Trough (底) 岸側手前の水深 8.0m の丸から Offshore の水深 10.0m の丸まで沖側の位置へ移るに伴ない、上述と全く逆な事象で変化するため

ある。また、二つの%に対応するそれぞれの ϕ 値がどちらかに移動するには、それらの ϕ 値付近の曲線の増加率 (接線の微分係数の平均) が重要な鍵を握る事になる。

$\alpha \phi$ は、汀線より沖へ約 350m の地点付近の Trough (底) の 1 丸のみが正にシフトし、他の 11 丸が負にシフトした。負にシフトした汀線より沖へ約 50m の地点～沖へ約 300m の地点間の 6 丸において、岸側から沖側の位置へ移るにつれて順次主要成分の粗粒化、および淘汰が悪くなって行く。上述の事象を累積曲線上で、16%に対応する ϕ 値が粗粒側へ大きく移動して行く。一方、84%に対応する ϕ 値が小さく粗粒側へ動く事で、双方の ϕ 値間 ($\sigma \phi$ の 2 倍) が広がって行く。なお、それぞれの%に対応する ϕ 値が粗粒側へ、あるいは細粒側へ動くのは、その付近の曲線の増加率 (接線の微分係数の平均) の大小によって決まるのである。汀線より沖へ約 400m の地点～沖へ約 680m の地点間の 5 丸において、岸側から沖側の位置へ移るにつれて順次主要成分の細粒化、および淘汰が良くなって行く。上述の事象を累積曲線上で、16%に対応する ϕ 値が大きく細粒側へ移動して行く。一方、84%に対応する ϕ 値が小さく細粒側へ動く事で、双方の ϕ 値間 ($\sigma \phi$ の 2 倍) が狭くなって行く。上述の二通りの説明から、粗粒側の“tail”が細粒側のそれより微少たりとも長くなる事で、 $M \phi$ が $Md \phi$ より粗粒側へ位置し、負にシフトした。唯一、正にシフトした Trough (底) の位置の 1 丸は -3.0ϕ 前後の礫の混合がなくなり、主要成分の若干の粗粒化と一つ岸側より急激に $\sigma \phi$ の値を落とした。上述の事象を累積曲線上で、16%に対応する ϕ 値が細粒側へ大きく移動し、また $Md \phi$ も若干粗粒側へ動いた。一方、84%に対応する ϕ 値も粗粒側へ移動し、双方の ϕ 値間 ($\sigma \phi$ の 2 倍) が狭くなった。上述の事象を総合して、細粒側の“tail”が粗粒側のそれより微少たりとも長くなり、 $Md \phi$ より粗粒側に位置していた $M \phi$ が $Md \phi$ を飛び越えて細粒側へ移り、正にシフトした。

$\beta \phi$ は、1 丸 1 丸、 $\sigma \phi$ の値と対比した時、逆相関している事がわかる。全体の傾向で比べた場合は、 $\sigma \phi$ がきれいな“山型”の形状できれいな傾向を示しているに対し、 $\beta \phi$ は大枠でしか逆相関の傾向を示さない。累積曲線上でみると、16%と 84%のそれぞれ二つに対応する ϕ 値間 ($\sigma \phi$ の 2 倍) が、一番岸側の水深 3.0m から沖側の水深 7.0m まで順次広がって行き、この地点から Offshore の水深 10.0m まで順次狭くなって行っている。この事象に対して、5%と 16%のそれぞれ二つに対応する ϕ 値間、84%と 95%のそれぞれ二つに対応する ϕ 値間、の二つの ϕ 値間の和が、岸側から沖側へ位置の移動につれて増減を繰り返す。故に、常道のきれいな傾向の域を逸脱する事になった。

弧状沿岸砂州接合部の測線において (Fig. 11), $Md\phi$ は、汀線より沖へ約 100m の地点～沖へ約 250m の地点間の 4 丸で $-0.10\sim 1.30\phi$ の値を示し、粗砂に極めて近い極粗砂と粗砂、中砂で組成する。汀線より沖へ約 250m の地点～沖へ約 450m の地点間の 3 丸で $2.30\sim 2.70\phi$ の値を示し、細砂で組成している。汀線より沖へ約 450m の地点～沖へ約 750m の地点間の 5 丸で $2.80\sim 3.00\phi$ の値を示し、微砂に極めて近い細砂で組成する事になる。去年のこの地形と比べてみると、汀線より沖へ約 100m の地点～沖へ約 200m の地点間の Nearshore には膨らみがあり、0.5m 近くの砂が堆積したようだ。極深部は 0.6m 近くの砂が堆積して浅くなり、幅も狭くなって、大体 70m くらい岸側へ移動した。一方、極浅部も 0.6m 近くの砂を堆積し、幅も広がって、大体 20m くらい岸側へ近付いた。上述の事象から、沖側から、岸側へ向かう水の流れて砂を運んで来て極浅部を押しながらかつて迫り上がるようにして幅を広げ、堆積した。この事象から、極深部が埋め立てられて、幅が狭くなり、岸に近付く事となった。全体的な傾向として、岸側から沖側へ向かって三段階となりながら極粗砂から微砂に極めて近い細砂まで右肩上がりで細粒化して行っている。この地形で、Nearshore の膨らみの箇所に堆積の砂・礫は、夏季による北東側から南西側へ流れる沿岸流によって運ばれて来て堆積し、混合したようだ。従って、去年のこの地形の Nearshore より格段に粗粒化した。

$\sigma\phi$ は、汀線より沖へ約 120m の地点～沖へ約 250m の地点間の Nearshore で、岸側から沖側へ向かって右肩上がりで淘汰が良くなって行っている。しかし、水深 3.0m と極深部の 2 丸がそれぞれ上述のような事象で粗粒化し、傾向から逸脱して極端に淘汰が悪くした。特に極深部の丸については、岸側一つ前より粗粒化して礫、極粗砂の混合量が増加し、主要成分の範囲が広がった。汀線より沖側へ約 250m の地点～沖へ約 450m の地点間の 3 丸で、岸側から沖側へ向かって右肩上がりで淘汰が悪くなる。汀線より沖へ約 450m の地点～沖へ約 750m の地点間の Offshore で、岸側から沖側へ向かって右肩上がりで淘汰が良くなって行く。全体の傾向は、“Nの文字”を裏返したように細長い形状をし、右肩上がりで淘汰を良くして行っている。

$\alpha\phi$ は、汀線より沖へ約 100m の地点～沖へ約 450m の地点間の 7 丸が負にシフトした。この測線の底質採取時期は夏季の終焉の頃で、観測棧橋撤去後の冬季、夏季特有の沿岸流、離岸流によって運ばれて来て Nearshore から極深部にかけての 4 丸の位置に堆積し、混合となったろう。また、負にシフトした極浅部とその前後の 3 丸は、 $Md\phi$ 、 $\sigma\phi$ のそれぞれ値の変化によって沖側から岸側へ向かって水の作用を受けた事が明瞭

である。上述の二つの説明で、主要成分が沖側の位置へ移るにつれて細粒化しているが、後の 3 丸は微妙に粗粒化して行った。極深部の 1 丸も礫の混合量が増加し、粗粒化した。上述のこれらの事象から、累積曲線上の粗粒側の“tail”が細粒側のそれより微少たりとも長くなり、 $M\phi$ が $Md\phi$ より粗粒側に位置し、負にシフトした。正にシフトした 5 丸は常道であった。

$\beta\phi$ は、汀線より沖へ約 100m の地点～沖へ約 250m の地点間の Nearshore と極深部の 4 丸で、礫が増加した。累積曲線上において、割る側の 16%、84%にそれぞれ対応する ϕ 値間 ($\sigma\phi$ の 2 倍)、割られる側の 5%、16%にそれぞれ対応する ϕ 値間と 84%、95%にそれぞれ対応する ϕ 値間の二つの ϕ 値間の和が、上述の事象により各々増減を繰り返す。それ故に、その商たる $\beta\phi$ の 4 丸が常道の域を大きく逸脱したのである。汀線より沖へ約 430m の地点付近の極浅部沖側斜面の 1 丸が微妙な主要成分の粗粒化で計算上相殺できず、常道の域外だった。汀線より沖へ約 250m の地点から沖側で上述の 1 丸以外の 7 丸は 1 丸 1 丸各々 $\sigma\phi$ との比較、および傾向においても、大体逆相関の常道の域内に収まっているようだ。

(3) 2010年3月1,6日

弧状沿岸砂州中心部の測線において (Fig. 12), $Md\phi$ は、汀線より沖へ約 50m の地点～沖へ約 250m の地点間の Nearshore の 5 丸で $1.25\sim 1.75\phi$ の値を示し、中砂で組成する。汀線より沖へ約 300m の地点～沖へ約 450m の地点間の 2 丸で $0.75\sim 1.00\phi$ の値を示し、中砂に極めて近い粗砂で組成している。汀線より沖へ約 470m の地点付近の Trough (底) 沖側近傍の 1 丸で -0.22ϕ の値を示し、粗砂にやや近い極粗砂で組成となる。汀線より沖へ約 480m の地点～沖へ約 550m の地点間の 3 丸で $1.75\sim 1.90\phi$ の値を示し、細砂に極めて近い中砂で組成となった。汀線より沖へ約 550m の地点～沖へ約 950m の地点間の 5 丸で $2.20\sim 3.00\phi$ の値を示し、中砂に極めて近い細砂と微砂に極めて近い細砂で組成となっている。この測線の底質採取時期は冬季の真最中からやや終焉寄りである。それに、観測棧橋の橋脚のような遮るものがなくなって一年半過ぎた今、猛烈な水の流れとして各箇所に作用した事がわかる。この測線の地形で、Trough (底) の岸側手前の汀線より沖へ約 250m の地点～沖へ約 350m の地点間に厚さ約 0.3～0.5m くらい砂の堆積で膨らみがある。南西から北東へ向かう強烈な沿岸流により、人工リーフ (潜堤) の上およびその沖側近傍に堆積の多量な砂が運ばれて来て膨らみの箇所に堆積し、混合したものと思われる。次に、猛烈に発達する離岸流により、岸から沖へ向かって粗粒側へ分級作用を加えながら Trough (底) まで運んだようだ。Trough (底) に堆積の砂のうち粗粒成分を

中心に Bar (Top) 岸側斜面まで押し上げて堆積させ、Bar (Top) より沖へは細粒側へ分級作用を加えて運んだ。しかし、水深 11.0m, 12.0m の二地点では、岸からの影響は見られない。全体的な傾向は“幅の広いV字型”の形状を示す。

$\sigma\phi$ は、汀線より沖へ約 50m の地点～沖へ約 250m の地点間の 5 丸で、岸側から沖側へある程度一定の値を示し、推移する。汀線より沖へ約 300m の地点～沖へ約 480m の地点間の 3 丸で、沖側へ向かって急に値が大きくなり、淘汰を悪くした。沖側の位置へ移るにつれて主要成分が粗粒化し、累積曲線上の 16% に対応する ϕ 値が大きくなり、84% に対応する ϕ 値が小さくなり、それぞれ粗粒側へ移動する。二つの ϕ 値間 ($\sigma\phi$ の 2 倍) が徐々に広がり、淘汰を悪くして行った。汀線より沖へ約 480m の地点～沖へ約 720m の地点間の 6 丸で、沖へ向かって値が小さくなって行き、右肩下がりとなる。汀線より沖へ約 800m の地点～沖へ約 920m の地点間の水深 11.0m, 12.0m の 2 丸で主要成分が細粒化し、累積曲線上の 16% に対応する ϕ 値が小さくなり、84% に対応する ϕ 値が大きくなり、それぞれ細粒側へ移動する。二つの ϕ 値間 ($\sigma\phi$ の 2 倍) が広くなり、淘汰を若干悪くした。淘汰を悪くした Trough (底) 前後の 3 丸と Offshore の 2 丸を除いた時、全体の傾向は大体、低い位置を維持しながら緩やかな右肩下がりを示す。

$\alpha\phi$ は、汀線より沖へ約 50m の地点～沖へ約 250m の地点間の 5 丸の Nearshore で、淘汰度が一定のまま沖側へ移るごとに主要成分が粗粒化して行っている。この事象から、累積曲線上の 16% に対応する ϕ 値より粗粒な成分が微量あるいは少量付加する。粗粒側の“tail”が細粒側のそれより微少たりとも長くなり、 $M\phi$ が $Md\phi$ より粗粒側に位置し、それぞれ負にシフトした。汀線より沖へ約 320m の地点付近の 1 丸は、 $Md\phi$ で詳述したように堆積した膨らみの箇所である。一つ岸側手前の丸より主要成分が粗粒化し、淘汰が良くなった。累積曲線上の 16%, 84% にそれぞれに対応する ϕ 値間 ($\sigma\phi$ の 2 倍) が狭くなりながら粗粒側に動いた。上の事象につれて $Md\phi$ が $M\phi$ を飛び越えて粗粒側へ移る。細粒側の“tail”が粗粒側のそれより微少たりとも長くなり、正にシフトした。汀線より沖へ約 400m の地点～沖へ約 470m の地点間の Trough (底) とその一つ沖側の 2 丸は、それぞれ負、正とシフトしている。二つの丸共に主要成分が粗粒化し、淘汰が悪くなった。累積曲線上では、礫の増加で $M\phi$ が $Md\phi$ より粗粒側に、一方、粗粒成分の増加で $Md\phi$ が $M\phi$ より粗粒側に、とそれぞれ移動し、粗粒側に、細粒側に、相対する“tail”より微少たりとも長くなり負、正にシフトした。Bar (Top) 岸側斜面より沖側の正にシフトした 6 丸は常道である。水深 9.0m, 10.0m の Offshore 2 丸は負にシフ

トした。猛烈に発達した離岸流が Nearshore に多量堆積の礫および粗粒成分を Bar (Top) を飛び越えて運び、堅くしまった Offshore の細粒な砂の上を浮力も手伝い転がって行き、この位置に堆積、混合した。この微量あるいは少量の礫、粗粒成分が累積曲線上で、粗粒側の“tail”を細粒側のそれより微少たりとも長くさせ、 $M\phi$ が $Md\phi$ より粗粒側に位置し、負にシフトした。

$\beta\phi$ は、 $\sigma\phi$ の値と 1 丸、1 丸比べた時、逆相関のようだ。全体的に尖度が割合大きい値に出ているのに対して、 $\sigma\phi$ の値が小さめに推移し、分級作用がかなり進んだ事がわかる。底質採取日が 3 月 1 日 (一部 3 月 6 日) であって、冬季に猛烈に発達する水の流れの作用を受けたに違いない。累積曲線上で 16%, 84% の二つにそれぞれ対応する ϕ 値間 ($\sigma\phi$ の 2 倍) が計算上、割る値として小さめにしている。一方、計算上、割られる値として 5%, 16% の二つにそれぞれ対応する ϕ 値間と 84%, 95% の二つにそれぞれ対応する ϕ 値間、の二つの ϕ 値間の和が大体、通常の数値に出ている事から図の様相となった。

弧状沿岸砂州接合部の測線において (Fig. 13), $Md\phi$ は、汀線より沖へ約 100m の地点～沖へ約 230m の地点間の 3 丸で 1.50～2.30 ϕ の値を示し、細砂にやや近い中砂と中砂にやや近い細砂で組成する。汀線より沖へ約 270m の地点～沖へ約 670m の地点間の 6 丸で 2.10～2.90 ϕ の値を示し、中砂に極めて近い細砂と微砂寄りの細砂で組成している。去年のこの地形で極深部が溝の様相を呈し、極浅部との比高も約 1.9m であった。それが、今回のこの地形では、極深部が沖側から押されたようにして埋め立てられて、極浅部との比高も約 0.2～0.3m と棚状化した。この事象により、去年の極深部、極浅部の位置より約 50.0m 程汀線に近付いた事がわかる。観測棧橋撤去により遮る物がなくなって一年半後の冬季のため、南西から北東へ向かう沿岸流が猛烈に発達して、人工リーフ (潜堤) の上やその沖側近傍に堆積の多量な細粒砂が運び込まれて Nearshore 周辺に堆積したようだ。この沿岸流の上手側隣りの弧状沿岸砂州中心部では、猛烈に発達した離岸流が沖側へ向かって流れ下る事により、沿岸流とでベクトルの合成が起こり北へ向かって進む。この水の流れが弧状になった砂州の岸側縁を回り込むようにして砂を運びながら進み、接合部の極浅部を沖側から押し上げるようにして、極深部を埋め尽くしたのである。よって、この測線全体が極度に細粒化したのである。

$\sigma\phi$ は、汀線より沖へ約 100m の地点～沖へ約 230m の地点間の 3 丸で、沖へ向かって値が大きくなっている。この 3 丸は、Nearshore と極深部の位置で、主に南西から北東へ向かう沿岸流によって運ばれた砂が堆積し、図のような淘汰度になった。特に一番沖側の丸の

極深部は、Md ϕ で詳述のような堆積の仕方をしたのである。岸から沖側の丸に移るごとに主要成分が粗粒化し、淘汰が悪くなって行っている。累積曲線上で16%、84%にそれぞれ対応する ϕ 値が大きく、小さく、それぞれ粗粒側へ移動する。その ϕ 値間 ($\sigma\phi$ の2倍)が徐々に広がって行き、淘汰が悪くなって行った。汀線より沖へ約270mの地点～沖へ約670mの地点間の6丸は、3丸ずつ上下二段に別れて岸側から沖側へ向かって値が小さくなって行っている。上述の事象は、順次、値が上下しながら6丸全体として右肩下がり傾向を示す。つまり、水の流れが斑に作用を加えた事が推測できる。Md ϕ で詳述のように、6丸は沖側の位置へ移るにつれて主要成分が細粒化している。累積曲線上の16%、84%に対応するそれぞれの ϕ 値が大きく、小さく、それぞれ細粒側に動き、二つの ϕ 値間 ($\sigma\phi$ の2倍)が3丸ずつ、上下二段に別れて狭まって行くのである。

$\alpha\phi$ は、5丸が負に、4丸が正にシフトしている。この測線は主に南西側から、および沖側から砂の供給を受けて全体が細粒化した。この事象から負に、あるいは正に、それぞれシフトするのは、Md ϕ 、 $\sigma\phi$ との関係に従い主要成分より粗粒な、あるいは細粒な少量または微量成分が累積曲線上で16%と84%のそれぞれ二つに対応する ϕ 値より粗粒側、あるいは細粒側に、その相対する“tail”より微少なりとも長い事がM ϕ の値に大きく反映する。M ϕ がMd ϕ より小さいか、あるいは大きいかにより、負あるいは正にシフトが決まり、その度合も決まってくる。

$\beta\phi$ は、1丸、1丸、 $\sigma\phi$ の値と対比した時に、常道とも言える逆相関しているようだ。全体の傾向は、やや逆相関の兆しがある。しかし、水深8.0mの丸のみがその域を逸脱した。今までの多くの経験で、極浅部沖側斜面の水深8.0mにおいては変則的な堆積の仕方をするからである。つまり、主要成分が細粒化する事により、累積曲線上の16%、84%にそれぞれ対応する ϕ 値間 ($\sigma\phi$ の2倍、割る側)が広がる。割られる側の5%、16%、それぞれ二つに対応する ϕ 値間と84%、95%、それぞれ二つに対応する ϕ 値間、二つの ϕ 値間の和が狭まり、その商としての尖度が小さくなって逸脱した。

(4) 2010年8月17日

弧状沿岸砂州中心部の測線において (Fig. 14)、Md ϕ は、汀線より沖へ約30mの地点～沖へ約100mの地点間の2丸で-0.60～-0.20 ϕ の値を示し、極粗砂と極粗砂に近い粗砂で組成する。この2丸は極めて汀線に近い事もあり、また、夏季の真最中でもある。この事象から、北東から南西へ向かう沿岸流によって多量の礫を含む粗粒砂が運ばれて来て堆積し、混合したようだ。汀線

より沖へ約100mの地点～沖へ約200mの地点間の3丸のNearshoreで1.90～2.00 ϕ の値を示し、極めて細砂に近い中砂で組成している。汀線より沖へ約230mの地点～沖へ約460mの地点間の4丸で-0.10～1.62 ϕ の値を示し、極粗砂、粗砂、中砂でそれぞれ組成となった。

この4丸はNearshore、Trough (底)とその岸、沖側近傍にそれぞれ位置していて、汀線付近に多量堆積している礫を含む極粗砂、粗砂を発達した離岸流が中砂および細砂に極めて近い中砂の堆積の箇所を飛び越えて流れ下りながら運び、Trough (底)に堆積、混合した。

離岸流はNearshoreの斜面を流れ下る時の加速度も加わって、Trough (底)での堆積物を細粒側に分級作用を加えながら迫り上がるようにしてBar (Top)岸側斜面を運び上げ、Bar (Top)近傍に堆積となる。汀線より沖へ約460mの地点～沖へ約930mの地点間の7丸で1.80～3.00 ϕ の値を示し、細砂に極めて近い中砂と細砂、および微砂に極めて近い細砂の組成である。Bar

(Top)沖側近傍の水深8.0mまでが岸側から運ばれて堆積したようだ。しかし、水深9.0mより沖側の4丸のOffshoreでは細砂および微砂に極めて近い細砂が滞留している状態で、岸からの水の影響をあまり受けない。水深9.0mが移動限界水深である事がわかる。全体が“Nの文字”のような形状で変化する傾向がある。

$\sigma\phi$ は、汀線より沖へ約30mの地点～沖へ約430mの地点間の8丸が、岸から沖へ向かって右肩上がりで順次値を大きくして行って一番の頂点に達する。この頂点はTrough (底)に位置し、これより沖へ向かって順次値が小さくなって行ってOffshoreに着く。このうちBar (Top)岸側近傍の水深8.0mでは離岸流がMd ϕ で詳述のような動作により淘汰が良くなった。また、Bar

(Top)の水深7.0mとその沖側近傍の水深8.0m、9.0mでは堆積と混合の仕方によって値が大、小、大と変化する。全体の傾向は“裾野の広い山型”の形状で変化している。

$\alpha\phi$ は、6丸が負にシフトし、10丸が正にシフトした。負にシフトしているNearshoreとTrough (底)岸側近傍の3丸は、主要成分が1丸で粗砂、沖側の2丸で順次、中砂から粗砂へと粗粒化している。 $\sigma\phi$ の値は岸側から沖側へ移るにつれて大きくなる。つまり、累積曲線上で16%、84%のそれぞれ二つに対応する ϕ 値間 ($\sigma\phi$ の2倍)が広がると共に粗粒側へ移動する。

上述の事象から、主要成分より粗粒な成分の礫、極粗砂が少量あるいは微量付加する事により、累積曲線上の16%に対応する ϕ 値より粗粒側に、84%に対応する ϕ 値より細粒側に、より微少なりとも長い“tail”を有する事で、M ϕ がMd ϕ より粗粒側に位置し、負にシフトとなった。一方、同じく負にシフトする沖側のOffshoreの3丸は、主要成分が微砂に極めて近い細砂

である事、また、 $\sigma\phi$ の値が沖へ向かって小さくなって行っている。つまり、累積曲線上の16%、84%のそれぞれ二つに対応する ϕ 値間（ $\sigma\phi$ の2倍）が徐々に狭くなりながら細粒側へ移って行く。上述の事象から、Nearshoreに多量の礫を含む粗粒成分が堆積し、それらのうちの少量あるいは微量が離岸流によって運ばれ、Bar (Top)を飛び越えて堅くしまった細粒砂の堆積した緩い傾斜を浮力も手伝って“ころころ”と転がって行ってOffshoreに体積、混合したと考えられる。この少量あるいは微量の礫を含む粗粒成分が累積曲線上の16%に対応する ϕ 値より粗粒側に、84%に対応する ϕ 値より細粒側に、より微少なりとも長い“tail”を有する事でM ϕ がMd ϕ より粗粒側に位置し、負のシフトになった。全体の傾向は“Wの文字”のような形状をして正、負、正、負、正と変化して行った。

$\beta\phi$ は、2丸を除いた全体の傾向が“横に開いたU字型”のような形状で変化して。 $\sigma\phi$ とはやや逆相関の様相だが、1丸、1丸ずつ比較するとそれが明瞭にわかる。累積曲線上の16%、84%にそれぞれ対応する ϕ 値間（ $\sigma\phi$ の2倍、割る側）の値を4丸程無視すると、“きれいな山型”の形状で変化する。上述に対し、5%、16%にそれぞれ対応する ϕ 値間と84%、95%にそれぞれ対応する ϕ 値間、二つの ϕ 値間の和（割られる側）の値が“半円に近い山型”の形状で変化したのである。特に、Bar (Top)とその岸、沖側斜面の3丸の二つの ϕ 値間の和（割られる側）の値が小さくなった事から“きれいな逆相関”の傾向の域を逸脱した。

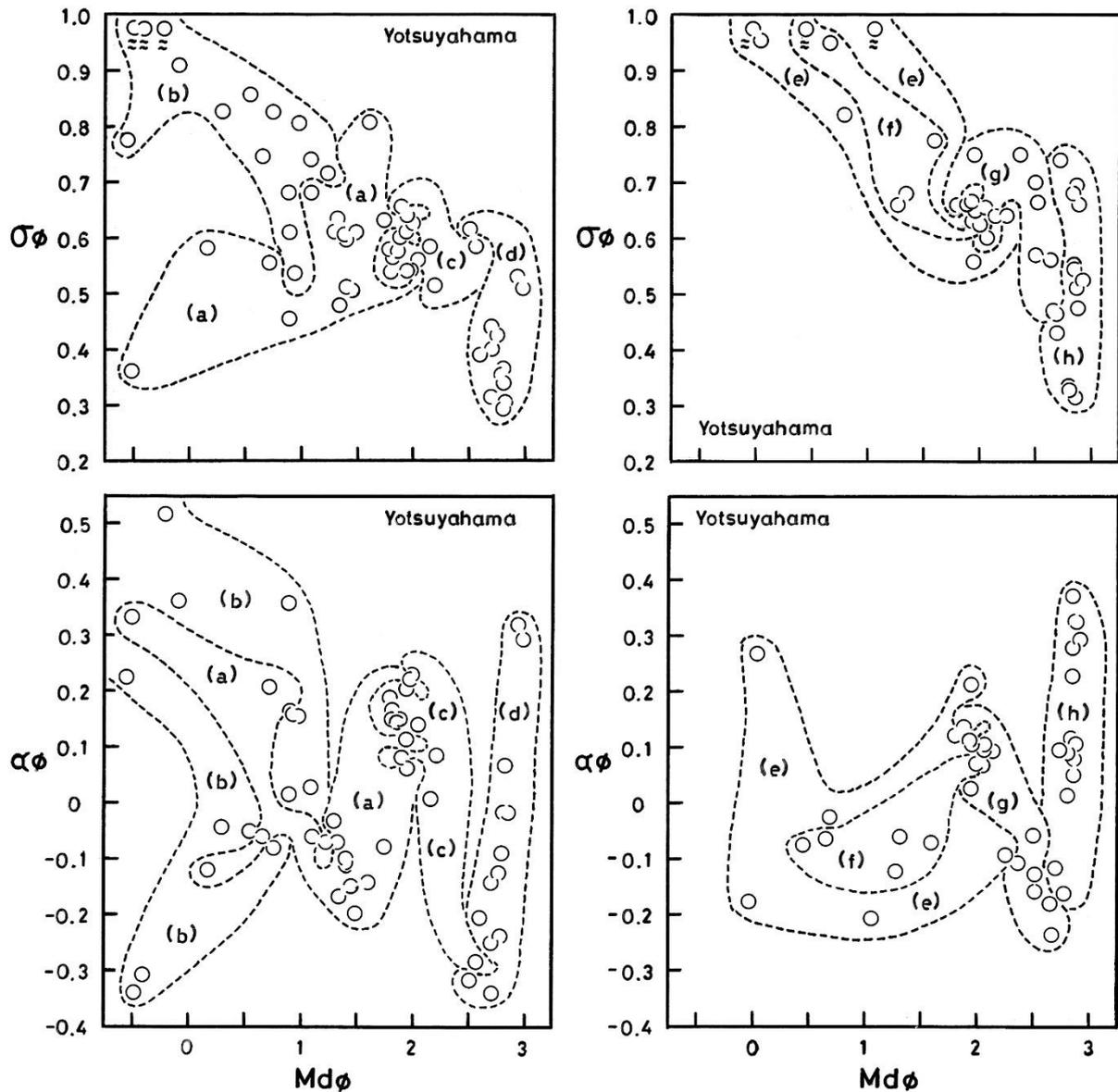
弧状沿岸砂州接合部の測線において (Fig. 15)、Md ϕ は、汀線より沖へ約120mの地点～沖へ約250mの地点間のNearshoreと極深部岸側近傍の3丸で0.04～2.01 ϕ の値を示し、極粗砂に極めて近い粗砂と粗砂に極めて近い中砂と中砂に極めて近い細砂でそれぞれ組成する。汀線より沖へ約260mの地点～沖へ約500mの地点間の極深部（水深6.0m）、極浅部（水深6.0m）とその沖側近傍の3丸で1.35～2.51 ϕ の値を示し、中砂と中砂に極めて近い細砂と細砂で組成している。汀線より沖へ約520mの地点～沖へ約700mの地点間の4丸で2.80～2.90 ϕ の値を示し、微砂に極めて近い細砂で組成となった。この測線の地形は2010年3月6日に測量の頃から柵状化が始まったようだ。これ以後、2011年7月27日、2012年7月24日、2014年9月30日と、それぞれの測量においても柵状化して行っているのが確認できる。従って、中心部の測線においては典型的なBar型断面形であるが、明瞭な弧状沿岸砂州であるかは疑わしい。上述の事象から、Nearshore周辺に堆積の粗粒成分である粗砂、中砂は夏季において、北東から南西へ向かう沿岸流によって運ばれて来た可能性がある。一方、細粒成分の細砂は、冬季に南西から北東

へ向かう沿岸流と離岸流により激しく細粒側に分級作用を受けて運ばれて来たようだ。全体の傾向は沖へ向かって単調に右肩上がり細粒化して行っている。上述のように、比高の有無によって粒度組成が重大に左右する事がわかる。

$\sigma\phi$ は、汀線より沖へ約120mの地点～沖へ約200mの地点間の2丸は非常に値が大きく、大変淘汰が悪い。汀線より沖へ約220mの地点付近の1丸は極深部岸側近傍と言う位置でもあり、細粒成分の細砂が激しい分級作用を受け、運ばれて来て堆積した事から、 $\sigma\phi$ の値が急に下がった。汀線より沖へ約550mの地点付近の水深8.0mの丸は、今まで多くの経験で変則的な堆積をする事から、今回も微砂に極めて近い細砂の堆積により $\sigma\phi$ の値が急に上がり、全体の傾向から逸脱した。全体の傾向は岸から沖へ向かって右肩下がりで値が小さくなって行く。

$\alpha\phi$ は、3丸が負にシフトし、7丸が正にシフトしている。負にシフトしている3丸のうち、岸側2丸の水深4.0mのNearshoreと水深6.0mの極深部は主要成分が中砂の組成で細粒化し、淘汰も特に悪い、やや悪いである。この事象から、礫を含む粗粒成分が微量あるいは少量混合している事によって累積曲線上の16%に対応する ϕ 値より粗粒側に、84%に対応する ϕ 値より細粒側に、より微少なりとも長い“tail”を有する事でM ϕ がMd ϕ より粗粒側に位置し、負にシフトした。一方、水深7.0mの極浅部沖側斜面の1丸は、主要成分が細砂の細粒成分で組成していて淘汰も割合良い事から、礫を含む粗粒成分が微量あるいは少量、混合していたらう。この微量あるいは少量の分だけ、累積曲線上の16%に対応する ϕ 値より粗粒側に、84%に対応する ϕ 値より細粒側に、より微少なりとも長い“tail”を有する事でM ϕ がMd ϕ より粗粒側に位置し、負にシフトとなった。但し、“tail”とは、累積曲線上のMd ϕ と粗粒側の16%に対応する ϕ 値、細粒側の84%に対応する ϕ 値、のそれぞれ間隔の事である。

$\beta\phi$ は、全体の傾向として、 $\sigma\phi$ が岸側から沖側へ向かって右肩下がりで変化しているのに対して、水深8.0m、9.0m、11.0mの3丸を除いて右肩上がり変化し、大体逆相関の傾向を示している。常道を逸脱した例外の3丸は、累積曲線上で16%、84%のそれぞれ二つに対応する ϕ 値間（ $\sigma\phi$ の2倍、割る側）の主要成分が微砂に極めて近い細砂の組成であるにもかかわらず分級作用が割合緩慢であった。上述の事象に伴って84%、95%のそれぞれ二つに対応する ϕ 値間に混合し、堆積している細粒成分が少量すぎた。5%、16%のそれぞれ二つに対応する ϕ 値間、上述の ϕ 値間との二つの和（割られる側）の値が小さすぎた事が常道を大きく逸脱した一つの要因となった。



At the central measuring line on the crescent-shaped bar.

At the jointed measuring line on the crescent-shaped bar.

Fig.16 The correlation between $Md\phi$ and $\sigma\phi$, $\alpha\phi$, in the sediment of the sea bottom.

(5) $Md\phi$ と $\sigma\phi$, $\alpha\phi$ の相関関係

まず, (Fig. 16) 内の記号を説明すると, 弧状沿岸砂州中心部の測線 (Bar 型断面形) で, (a): Nearshore, (b): Trough (底) とその前後, (c): Bar (Top) とその前後, (d): Offshore. 弧状沿岸砂州接合部の測線 (Step 型断面形) で, (e) Nearshore, (f): 極深部とその前後, (g): 極浅部とその前後, (h): Offshore, とそれぞれ明記する.

弧状沿岸砂州中心部の測線 (Bar 型断面形) で $Md\phi$ と $\sigma\phi$ の相関関係において, 全体の傾向は, $Md\phi$ が左

から右へ細粒化して行くにつれて $\sigma\phi$ は右肩下がりで値が小さくなって行き, 区分で表わすと (b), (a), (c), (d) の順で小さくなっている. 区分 (b) では $Md\phi$ が $-0.56 \sim 1.23\phi$ の値を示し, 極粗砂, 粗砂, 中砂で主要成分を組成している. 上述の事象に対し, $\sigma\phi$ は $0.535 \sim 2.450$ の値を示し淘汰が良いから大変悪いの様相で, 主要成分が細粒化の方へ向かって右肩下がりで順次値が小さくなる. 主要成分が極粗砂で組成し, かつ淘汰が極めて悪い丸は主に観測棧橋撤去以後に区分 (b) の位置で採取した底質で, 特に 2009 年

10月15日が顕著である事がわかる。観測栈橋の橋脚により塞き止められていた Nearshore 周辺の多量な礫を含む粗粒成分あるいは細粒成分が撤去後一年の間に両方向からの沿岸流や離岸流によって運ばれ、一番の堆積場の区分 (b) の位置に堆積する事で上述の事象となった。区分 (a) では、 $Md\phi$ が $-0.51 \sim 1.97\phi$ の値を示し、極粗砂、粗砂、中砂で主要成分を組成している。上述の事象に対し、 $\sigma\phi$ は $0.360 \sim 0.805$ の値を示し、全体の傾向に反し淘汰が良いから悪い、と主要成分が細粒化して行くにつれて右肩上がりに値が大きくなる傾向が希薄ながら見られる。主要成分が中砂で組成の場合は大体全体の傾向の域に乗っているが、1丸だけ逸脱して淘汰が悪く、値がやや大きい。全体の傾向から逸脱し、この区分の傾向に乗じる4丸は主要成分が極粗砂、粗砂の組成である。この事象から、この区分の位置において、主要成分が極粗砂、粗砂と粗粒化した際に淘汰が良くなって行く事がわかる。区分 (c) では、 $Md\phi$ が $1.79 \sim 2.56\phi$ の値を示し、細砂に極めて近い中砂と細砂で主要成分を組成する。上述の事象に対し、 $\sigma\phi$ は $0.515 \sim 0.655$ の値を示し、全体の傾向の域に乗っているが、若干上下に長いやや楕円に近い形状である。Trough (底) は礫を含む粗粒成分を中心とする堆積場である。上述の事象から、沿岸流と離岸流が分級作用を加えながら堆積物を多量運んだに違いない。特に離岸流が Nearshore 周辺に多量堆積の礫を含む粗粒成分、細粒成分を緩い傾斜の下り坂を浮力も手伝って流れ下るように運んで Trough (底) に堆積させる。次に、この堆積物に対し細粒側に分級作用を加えながら急傾斜の Bar (Top) 岸側斜面を迫り上げるようにして運び、Bar (Top) 周辺に堆積させる事から、区分 (c) の様相となった。区分 (d) では、 $Md\phi$ が $2.52 \sim 2.99\phi$ の値を示し、細砂と微砂に極めて近い細砂で主要成分を組成している。上述の事象に対して、 $\sigma\phi$ は $0.295 \sim 0.615$ の値を示し、全体の傾向の域内で変化している。縦に細長い楕円のような形状で淘汰が“やや良いから極めて良い”という具合に縦列である。Offshore では細砂と微砂が堆積砂の大部分を占め、強い水の流れの時にのみこの区分内で移動する。冬季等で猛烈に発達した離岸流により、Nearshore 周辺に多量な礫を含む粗粒成分が堆積しているうちの少量あるいは微量が運ばれて、小高い Bar (Top) を飛び越えて緩やかな下り坂を浮力も手伝って“ころころ”と転がって行き、この区分内に堆積となる。この少量あるいは微量さが次述となる、 $\alpha\phi$ の負あるいは正にシフトするために大きく反映しているのである。

$Md\phi$ と $\alpha\phi$ の相関関係において全体の傾向は、 $Md\phi$ が左から右へ細粒化して行くにつれて正、負、正、負、正と順次シフトし、ちょうど“Wの文字”のような形

状で、微少右肩下がりで変化する。区分で表わすと、(b), (a), (c), (d) の順番で $Md\phi$ の細粒化につれて正、負どちらかにシフトする。 $Md\phi$ が 1.0ϕ より粗粒側で、区分 (a) が区分 (b) に取り囲まれている部分がある。区分 (b) では、 $Md\phi$ が $-0.56 \sim 1.23\phi$ の値を示し、6丸が負に、8丸が正に、とそれぞれシフトし、区分 (a) の一部分を取り囲んでいる。区分 (a) では、 $Md\phi$ が $-0.51 \sim 1.97\phi$ の値を示し、13丸が負に、6丸が正に、とそれぞれシフトし、 $Md\phi$ が 1.0ϕ より粗粒側の負、正にそれぞれシフトしている2丸、3丸のみ区分 (b) に取り囲まれている。区分 (c) では、 $Md\phi$ が $1.79 \sim 2.56\phi$ の値を示し、1丸が負に、11丸が正にそれぞれシフトしている。大部分の11丸が正、一番 $Md\phi$ の細粒化した1丸が負、とそれぞれのシフトにより、区分としては細長い形状になった。区分 (d) では、 $Md\phi$ が $2.52 \sim 2.99\phi$ の値を示し、10丸が負に、3丸が正に、とそれぞれシフトし縦列となった。四つの区分のうちで最も $Md\phi$ が細粒で、また、主要成分が細砂、微砂で組成の Offshore でありながら10丸も負にシフトしたか。それは、先に論述したように、猛烈に発達した離岸流により運ばれて来た礫を含む粗粒成分が少量あるいは微量の混合によって、累積曲線上の16%に対応する ϕ 値より粗粒側に、84%に対応する ϕ 値より細粒側に、より微少なりとも長い“tail”を有する事で、 $M\phi$ が $Md\phi$ より粗粒側に位置する事となる。

弧状沿岸砂州接合部の測線 (Step 型断面形) で $Md\phi$ と $\sigma\phi$ の相関関係において、全体が右上端に寄り、中心部の測線のこの関係図より小規模ながら左から右へ主要成分が細粒化して行くにつれて $\sigma\phi$ はやや急傾斜で右肩下がりに値が小さくなって行く。区分で表わすと (e), (f), (g), (h) の順番に小さくなって行く。区分 (e) では、 $Md\phi$ が $-0.03 \sim 2.26\phi$ の値を示し、粗砂に極めて近い極粗砂、粗砂、中砂、細砂で主要成分を組成する。上述の事象に対し、 $\sigma\phi$ は $0.560 \sim 1.395$ の値を示し、“大変淘汰が悪いからやや淘汰が良い”の様相で、先のこの関係図よりもやや急傾斜を保ちながら右へ主要成分が細粒化するにつれて、右肩下がりに淘汰が良くなっている。 $Md\phi$ が 2.0ϕ より粗粒側では、区分 (e) が区分 (f) を完全に取り囲む形状をして、両区分共に右肩下がりに値が変化している。区分 (f) では、 $Md\phi$ が $0.45 \sim 2.01\phi$ の値を示し、粗砂、中砂、中砂に極めて近い細砂で主要成分を組成している。上述の事象に対し、 $\sigma\phi$ は $0.625 \sim 1.060$ の値を示し、 $Md\phi$ の粗粒側から 2.0ϕ まで区分 (e) に取り囲まれた状態で、右肩下がりに淘汰を良くして行っている。区分 (g) では、 $Md\phi$ が $1.88 \sim 2.67\phi$ の値を示し、細砂に極めて近い中砂と細砂の主要成分の組成である。上述の事象に対し、 $\sigma\phi$ は $0.470 \sim 0.750$ の値を

示し、“ Γ 型”のような形状で“淘汰がやや悪いからやや良い”と左側から右側へMd ϕ の細粒化と共に右肩下がりに値が変化している。区分(h)では、Md ϕ が2.68~2.93 ϕ の値を示し、細砂と微砂に極めて近い細砂の主要成分の組成となる。上述の事象に対し、 σ ϕ は0.315~0.740の値を示し、淘汰が“やや悪いから良い”と細長く縦列している。

Md ϕ と α ϕ の相関関係において、全体の傾向は、Md ϕ が左側から右側へ細粒化するにつれて不明瞭であるにしる、負から正へと微妙に右肩上がりで値が変化している。区分で表わすと(e)、(f)、(g)、(h)の順番で、大体右肩上がりのそれぞれシフトである。区分(e)では、Md ϕ が-0.03~2.26 ϕ の値を示し、3丸が負に、5丸が正に、とそれぞれシフトしている。区分(f)では、Md ϕ が0.45~2.01 ϕ の値を示し、5丸が負に、1丸が正に、とそれぞれシフトし、丸の位置関係で不明瞭ながら区分(e)に取り囲まれているようだ。この測線の地形から極深部を見ると、1回目は極浅部との比高も約2.0mと生じ、典型的なStep型断面形であった。2回目に約0.8m程埋め尽くされ、幅も狭く溝の様相となり、極深部と極浅部の比高も約1.7m程となった。3,4回目で完全に棚状化し、両部の比高も0.2~0.3mとなった。この事象から、極深部には沿岸流によって運ばれて来る礫を含む割合粗粒な砂が堆積し、もう一方、沿岸流と離岸流のベクトルの合成で発生する北向きの強烈な水の流れが砂を伴って、弧状となった砂州の岸側の縁を回り込むようにして進む。極浅部では、その水の流れが沖から岸へ向かう流れに変換し、極浅部を押し崩すように細粒な砂を極深部に堆積させ、混合する事になる。上の論述から、混合になったうちの少量か、あるいは微量の礫を含む粗粒成分が累積曲線上の16%に対応する ϕ 値より粗粒側に、84%に対応する ϕ 値より細粒側に、より微少なりとも長い“tail”を有する事で、M ϕ がMd ϕ より粗粒側に位置し、区分(f)の大部分の丸が負にシフトとなった。区分(g)では、Md ϕ が1.88~2.67 ϕ の値を示し、6丸が負に、5丸が正に、とそれぞれシフトして、Md ϕ が左から右へ細粒化するにつれて細長い区分の形状で急激な右肩下がりに正から負へと変化している。つまり、横からの水の流れによって礫を含む粗粒成分が少量あるいは微量の混合があるか、ないかにより決まるようだ。Md ϕ が2.30 ϕ を大体境として細粒側が負に、粗粒側が正におおよそ半々ずつシフトした。区分(h)では、Md ϕ が2.68~2.93 ϕ の値を示し、2丸が負に、13丸が正に、とそれぞれシフトして細長く縦列している。負にシフトした2丸については、強烈に発達した沿岸流と離岸流のベクトルの合成によって生じる北向きの流れが、礫を含む粗粒成分を伴って弧状となっ

た砂州の岸側の縁を回り込むように進む。岸へ向かう変換点付近で勢い余り砂州の頂上付近を飛び越えて進み、この測線のOffshoreに堆積させ、堅くしまった細粒な砂と混合するのである。その混合砂のうち、少量あるいは微量の礫を含む粗粒成分が累積曲線上で区分(f)と類似な現象を生じ、2丸を負にシフトさせた。上の論述の勘案からして、Bar型の測線の同区分(d)と負、正へとそれぞれシフトする丸の数が逆転した事がわかる。

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事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 値をとり、縦軸に重量頻度の累積頻度曲線を描いた。次に、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、二つの集団がオーバーラップする粒径を吟味した。二つの変換点の間が構成正規分布集団の一つとして、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なわれた事になる。

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な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良くのっており、構成正規分布集団の分離が良い精度で行なわれた事を示している。また、粒度分析も高い精度で行なわれた事がわかる。

今回は、2008年6月28日、2009年10月15日、2010年3月1日、2010年8月17日の4回、四ッ屋浜の観測棧橋跡周辺の海底底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接合部を通る岸沖方向の2側線とし、各々の測線3点ずつ行なった。

最後に、定点0より南西へ約300mより南西側に既設の人工リーフ(潜堤)の上もしくは沖側近傍の底質も解析し、考察する。これにより、底質の需要と供給および漂砂源も考察したい。

(1) 2008年6月28日

弧状沿岸砂州中心部の測線(Fig. 17)において、水深4.0mのNearshoreでは、Md ϕ が-0.27 ϕ の極粗砂を

1.8%, 0.77φの粗砂を72.1%, 1.49φの中砂を25.8%
 2.45φの細砂を0.2%, でそれぞれ構成する. 水深9.0m
 の Trough(底)では, Mdφが-0.27φの極粗砂を40.6%,
 0.63φの粗砂を39.4%, 1.62φの中砂を12.2%, 2.53φ
 の細砂を0.9%, でそれぞれ構成している. 水深6.0m
 の Bar(Top)では, Mdφが0.13~0.97φの粗砂を10.2%,
 1.83φの中砂を70.7%, 2.70φの細砂を17.7%, で
 それぞれ構成となる.

この測線の地形は観測栈橋撤去の大体三ヶ月前の
 測量である. 同時に底質採取もそうである. この測線
 の地形(Bar型断面形)を見ると, 水深4.0mのNearshore

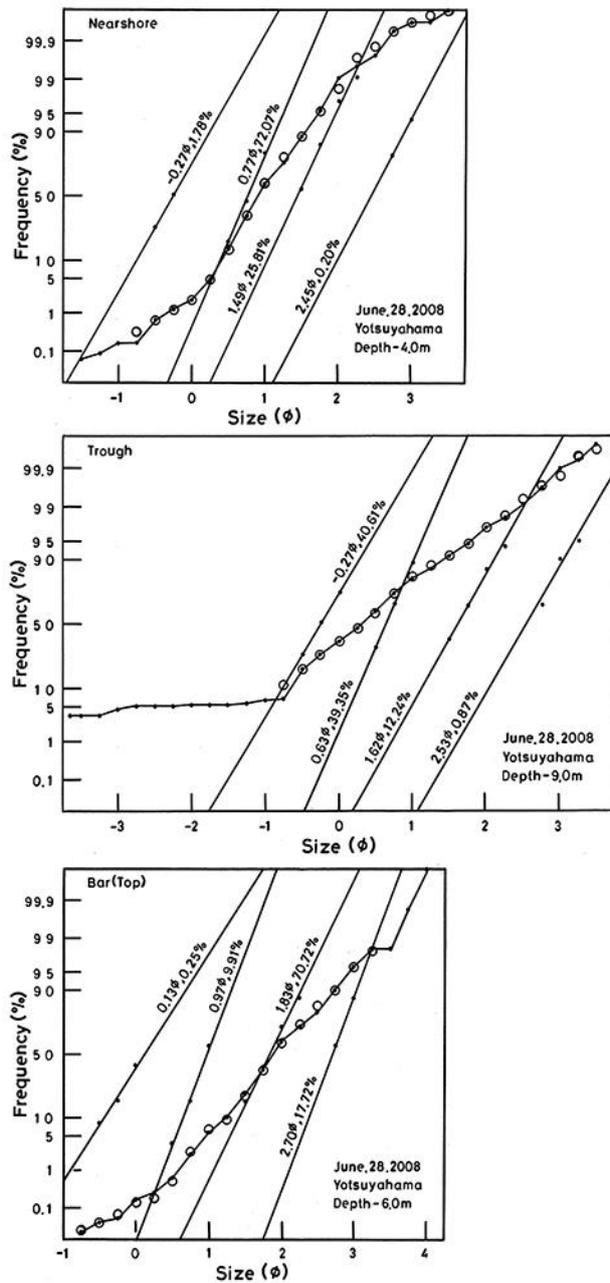


Fig.17 At the central measuring line on the crescent-shaped bar.

付近に厚さ約0.5m程の砂が堆積しているのがわかる.
 この位置は, 斜杭3本組とする2ヶ所にあたり, 南西
 あるいは北東両方向からの沿岸流によって運ばれて来
 る砂・礫を多量, 塞き止める事によって堆積し, 地形
 に示す膨らみとなった. 水深9.0mの Trough(底)で
 は, 極粗砂と粗砂で80%近くの集団を構成しているよ
 うに, 二種類の測線のうち一番の堆積場である. 特に,
 礫を含む粗粒成分の堆積が顕著に成り易い. 南西およ
 び北東の両方向からの沿岸流によって運ばれて来る底
 質と Nearshore から離岸流によって運ばれて来る底質
 が水深の一番深いこの位置で混合となり, 前述の集団

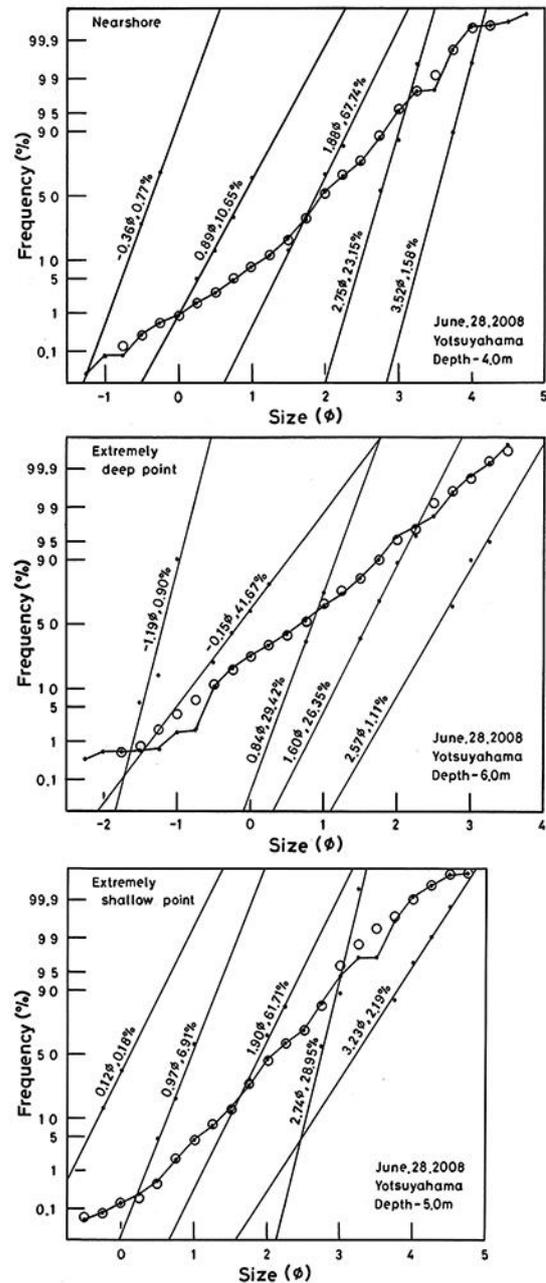


Fig.18 At the jointed measuring line on the crescent-shaped bar.

構成になった。水深 6.0m の Bar (Top) では、細粒成分の堆積場でもあり、図のように極めて細砂に近い中砂が 70.7% で集団を構成している。強烈に発達した離岸流が加速度を付けて Nearshore を流れ下り、Trough (底) の堆積物を細粒側に分級作用を加えながら急傾斜の Bar (Top) 岸側斜面を迫り上がるように運び上げ、堆積する事で、前述のような集団構成になった。

弧状沿岸砂州接合部の測線 (Fig. 18) において、水深 4.0m の Nearshore では、Md ϕ が -0.36 ϕ の極粗砂を 0.8%、0.89 ϕ の粗砂を 10.6%、1.88 ϕ の中砂を 63.7%、2.75 ϕ の細砂を 23.2%、3.52 ϕ の微砂を 1.6%、でそれぞれ構成する。水深 6.0m の極深部では、Md ϕ が -1.19 ϕ の小礫を 0.9%、-0.15 ϕ の極粗砂を 41.7%、0.84 ϕ の粗砂を 29.4%、1.60 ϕ の中砂を 26.4%、2.57 ϕ の細砂を 1.1%、でそれぞれ構成している。水深 5.0m の極浅部では、Md ϕ が 0.12 ~ 0.97 ϕ の粗砂を 7.1%、1.90 ϕ の中砂を 61.7%、2.74 ϕ の細砂を 28.9%、3.23 ϕ の微砂を 2.2%、でそれぞれ構成となる。

(Fig. 4) の地形を見ると、定点 0 より北東側約 150m と約 300m の谷と山の比高が約 2.0m とあり、定点 0 より南西側および北東側それぞれ 50m 付近に塞き止められた砂・礫が多量堆積しているのがわかる。この測線の地形 (Step 型断面形) で極深部が本来水深 7.0m にもかかわらず、諸事情で試料を採取できず、その代わり岸寄りの水深 6.0m の試料を採取し、解析した。この測線の堆積の状況は、底質採取が冬季から夏季に移行する境目にあたり、むしろ冬季のなごりである。Nearshore の水深 4.0m では、南西から沿岸流によって運ばれて来た多量の細粒砂が堆積し、少量の礫を含む粗粒砂と混合する事によって中砂と細砂で 86.9% の頻度の構成になった。この沿岸流の上手側に位置する中心部の測線の Nearshore で水深 4.0m の集団を構成する頻度と比べて一段と細粒化した。極深部の水深 6.0m では、去年の夏季に発生した北東から南西へ向かう沿岸流により多量の礫を含む粗粒砂が運ばれて来て、この位置に堆積となった。次に、冬季に強烈に発達した南西から北東へ向かう沿岸流が細粒砂を直接運び、離岸流とベクトルの合成による流れで弧状砂州を介して細粒砂を運ぶ、の両方によりこの位置に堆積する。前述の礫を含む粗粒砂と混合し、極粗砂と中砂の集団を構成する頻度が先述の Trough (底) と比べて上がった。極浅部の水深 5.0m では、前で論述のように、冬季における南西から北東へ向かう沿岸流単独および離岸流とベクトルの合成による流れ、の二つの水の流れがこの位置の極浅部に向かって押し上げるように分級作用を加えながら砂を運び上げ、混合した。上の論述から、中砂の 61.7%、細砂の 28.9%、とそれぞれ集団を構成し、細粒化が顕著に進んだ。

(2) 2009 年 10 月 15 日

弧状沿岸砂州中心部の測線 (Fig. 19) において、水深 4.0m の Nearshore では、Md ϕ が -0.08 ϕ の極粗砂を 5.5%、0.84 ϕ の粗砂を 27.8%、1.68 ϕ の中砂を 60.7%、2.64 ϕ の細砂を 5.4%、3.45 ϕ の微砂を 0.5%、でそれぞれ構成する。水深 9.0m の Trough (底) では、Md ϕ が -1.00 ϕ の小礫を 27.5%、-0.57 ϕ の極粗砂を 53.4%、0.60 ϕ の粗砂を 13.1%、1.61 ϕ の中砂を 4.2%、2.78 ϕ の細砂を 1.3%、3.45 ϕ の微砂を 0.1%、でそれぞれ構成している。水深 7.0m の Bar (Top) では、Md ϕ が 0.22 ~ 0.96 ϕ の粗砂を 2.3%、1.96 ϕ の中砂を 42.2%、2.81 ϕ の細砂を 50.0%、3.06 ϕ の微砂を 5.4%、でそれぞれ構成となる。

この測線の地形 (Bar 型断面形) は、観測棧橋撤去後ちょうど一年経過後である。また、(Fig. 2, 3) -①で測量の地形も同様である。まず、(Fig. 5) の地形で、定点 0 より南西側へ約 100m の地点 ~ 北東側へ約 50m の地点間には、凸レンズの片側のような形状で膨らみがあり、厚さ約 1.0m 近くの砂・礫の堆積があるようだ。この測線の汀線より沖へ約 100m の地点で、水深 4.0m の地点にもそれらがいくらか堆積しているのがわかる。水深 4.0m の Nearshore では、橋脚という妨げる物がなくなった事と 10 月という夏季の終焉の頃、のこれらの事象により今まで、自然の節理に従いながら砂・礫の需要、供給が盛大に行なわれた。故に、この試料採取の時期および位置においては、あまり移動する事もなく、割合安定した堆積過程である。上述の事象から、粗砂の 27.8%、中砂の 60.7% のようにそれぞれ集団を構成するようになった。水深 9.0m の Trough (底) では、冬季の猛烈に発達した離岸流が、多量 Nearshore に堆積の砂・礫を粗粒側に分級作用を加えながら流れ下り、この測線一番の堆積場であるこの位置に堆積となった。上の事象に加えて、夏季における北東から南西へ向かう沿岸流が礫を含む粗粒砂を運んで来て堆積した。小礫の 27.5%、極粗砂の 53.4% のような集団構成となり、去年のこの測線のこの位置より一段と粗粒側の集団を構成する頻度が大きくなった。水深 7.0m の Bar (Top) では、猛烈に発達した冬季での離岸流が、堆積場でもある Trough (底) に多量堆積させ、今度は混合している砂・礫を細粒側に分級作用を加えながら Bar (Top) 岸側斜面を迫り上がるように運び上げ、この位置に堆積させた。よって、中砂の 42.2%、細砂の 50.0% のような集団構成となり、去年のこの測線のこの位置より一段と細粒側の集団を構成する頻度が大きくなった。

弧状沿岸砂州接合部の測線 (Fig. 20) において、水深 4.0m の Nearshore では、Md ϕ が -1.88 ~ -1.19 ϕ の小礫を 1.1%、-0.19 ϕ の極粗砂を 26.5%、0.71 ϕ の粗砂

を 46.3%, 1.56 φ の中砂を 24.7%, 2.65 φ の細砂を 0.9%, でそれぞれ構成する。水深 6.0m の極深部では, Md φ が -3.11 φ の中礫を 4.8%, -1.15 φ の小礫を 6.0%, -0.30 φ の極粗砂を 38.9%, 0.84 φ の粗砂を 26.4%, 1.58 φ の中砂を 21.3%, 2.66 φ の細砂を 0.9%, でそれぞれ構成している。水深 4.0m の極浅部では, Md φ が 1.30 φ の中砂を 6.3%, 2.00~2.78 φ の細砂を 82.3%, 3.62 φ の微砂を 11.2%, でそれぞれ構成となる。

この測線の地形 (Step 型断面形) は, 去年のこの地形と比べ, 一変して極浅部が崩れながら極深部を埋め立てるように岸側へ近付く様相を呈している。水深

4.0m の Nearshore では, 中心部の測線の Nearshore にあった橋脚がなくなり, 水の流れがスムーズになった。この事象により, 南西から, 北東から, 両方向からの沿岸流が礫を優勢に含む多量な砂・礫を運んで来て, この位置に堆積させ, 混合した。上の事象により, 去年のこの測線の同位置より一段と粗粒化し, 極粗砂の 26.5%, 粗砂の 46.3%, 中砂の 24.7%, とそれぞれ集団を構成する頻度になった。水深 6.0m の極深部では, 冬季の猛烈に発達した南西から北東へ向かう沿岸流が, 中心部の測線の Nearshore や Trough (底) に多量堆積している砂・礫をこの測線のこの位置を埋め尽くすよ

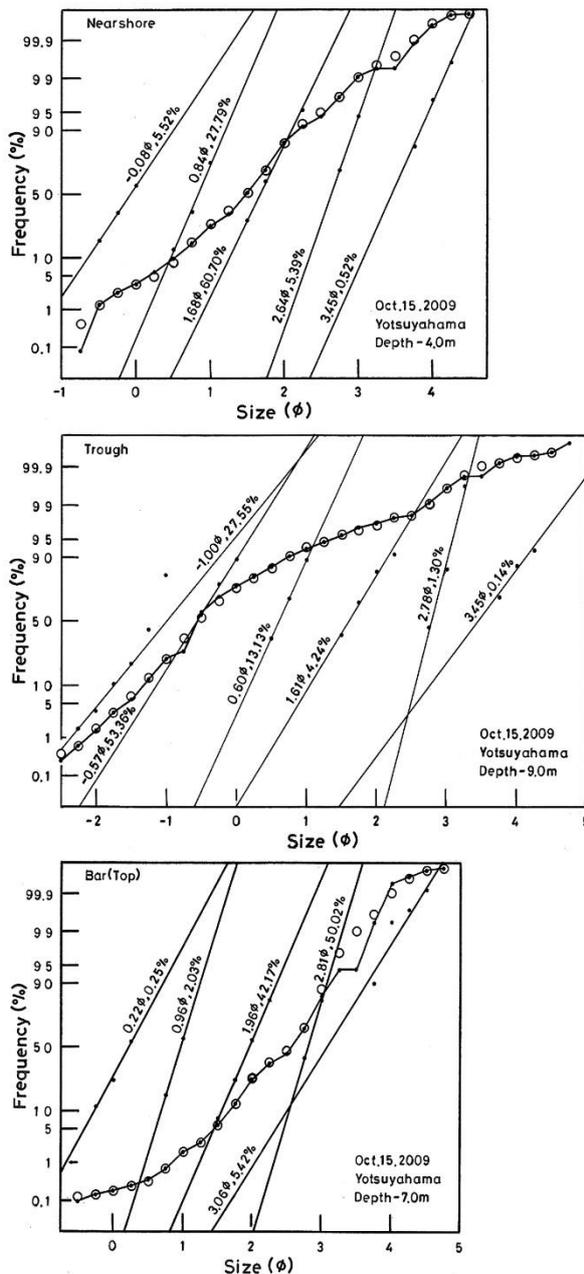


Fig.19 At the central measuring line on the crescent-shaped bar.

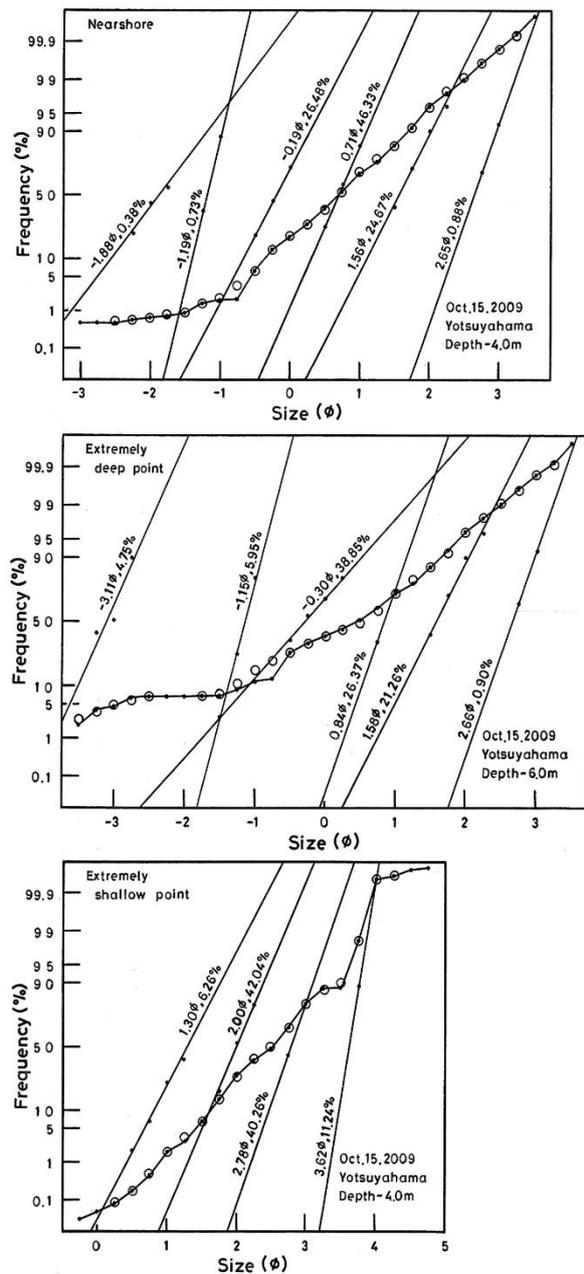


Fig.20 At the jointed measuring line on the crescent-shaped bar.

うに運び、堆積させた。上述の沿岸流と猛烈に発達した離岸流とのベクトルの合成で分岐した水の流れは、弧状砂州の岸側縁を回り込むように分級作用を加えて進み、極浅部の位置では沖側から岸側へ向かって押し崩すようにしてこの位置に堆積となった。勿論、夏季に主に発生する北東から南西へ向かう沿岸流も多量な砂・礫を運び、この位置の埋め立てに大いに荷担したに違いない。上述の事象から、礫の10.7%、極粗砂の38.9%、粗砂の26.4%、中砂の21.3%、のそれぞれ集団構成し、去年のこの測線の同位置より一段と粗粒化した構成となった。水深4.0mの極浅部では、上述のような水の流れによって運ばれて来て、この位置に堆積となる事で、細砂の82.3%、微砂の11.2%、とそれぞれ集団構成し、一段と細粒側の集団を構成する頻度が大きくなった。

(3) 2010年3月1日

弧状沿岸砂州中心部の測線 (Fig. 21) において、水深4.0mのNearshoreでは、Mdφが0.09~0.87φの粗砂を20.2%、1.79φの中砂を68.4%、2.63φの細砂を10.9%、でそれぞれ構成する。水深9.0mのTrough(底)では、Mdφが-2.10φの中礫を1.4%、-1.19φの小礫を1.2%、-0.17φの極粗砂を19.8%、0.73φの粗砂を47.8%、1.55φの中砂を23.2%、2.59φの細砂を3.7%、3.68φの微砂を0.2%、でそれぞれ構成している。水深6.0mのBar (Top) では、Mdφが1.01~1.83φの中砂を82.9%、2.73φの細砂を16.2%、でそれぞれ構成となる。

この測線の地形 (Bar型断面形) は、冬季の後半の時期で、変化の途中のようだ。水深8.0mの汀線より沖へ約300mの地点付近に少々膨らみがあり、砂・礫の堆積が見受けられる。水深4.0mのNearshoreでは、冬季に猛烈に発達する南西から北東へ向かって流れる沿岸流によって、この水の流れの上手側の人工リーフ (潜堤) の上、および沖側近傍に堆積の砂 (最後に示す図による集団を構成する頻度が2008年6月28日の水深4.0m Nearshoreと2010年3月1日の水深9.0m Trough(底)、の二つの位置の頻度にそれぞれ類似している) が分級作用を受けながら運ばれて来て堆積したのではないか。その上、この測線特有の猛烈に発達し、流れ下る離岸流が特段に細粒側へ分級作用を加える事により、去年のこの位置の集団構成と比べて、粗粒側の集団構成の頻度が小さく、細粒側のそれが大きくなった。水深9.0mのTrough(底)では、沿岸流と離岸流がこの位置付近で衝突し、ベクトルの合成が起こる事によって、多量な分級作用を受けた砂・礫が堆積した。本来この位置では、礫を含む粗粒な集団構成の頻度が大きい事が常道である。しかし、二つの水の流れが特大に作用した事で、去年のこの位置の集団構成の

頻度と比べ、細粒側の粗砂、中砂の頻度が大きくなり、粗粒側の礫、極粗砂の頻度が小さくなった。水深6.0mのBar (Top) では、強大に発達してNearshoreを流れ下る離岸流が砂・礫を運び、次にTrough(底)に堆積の砂・礫に分級作用を加えながら急勾配のBar (Top) 岸側斜面を迫り上がるように運び上げ、この位置に堆積させた。上述の事象から、去年のこの測線のこの位置で、集団構成の頻度が中砂を42.2%、細砂を50.0%と二つに分け合っていたが、今回は中砂を82.9%と、偏った頻度を示した。

弧状沿岸砂州接合部の測線 (Fig. 22) において、水深4.0mのNearshoreでは、Mdφが0.09~0.90φの粗砂を16.5%、1.79φの中砂を65.3%、2.71φの細砂を16.9%、3.51φの微砂を1.2%、でそれぞれ構成する。水深5.0mの極深部では、Mdφが0.78φの粗砂を34.0%、1.80φの中砂を54.7%、2.69φの細砂を10.1%、でそれぞれ構成している。水深5.0mの極浅部では、Mdφが0.91φの粗砂を7.3%、1.94φの中砂を58.9%、2.78φの細砂を29.2%、3.58φの微砂を4.6%、でそれぞれ構成となる。

この測線の地形 (Step型断面形) は、去年細い溝のような形状で存在していた極深部が今回、強大に発達した沿岸流、離岸流の二つの水の流れが横から、および沖側からと砂・礫を運び、極深部を埋め尽くしてしまった。このような事象から、極深部と極浅部の比高もほとんどなくなり棚状化した。それに伴ない、50m程岸側へ移動したようだ。水深4.0mのNearshoreでは、主に南西から北東へ向かう沿岸流により分級作用を受けて運ばれ、この位置に堆積した過程からみて、去年のこの測線のこの位置で集団構成の頻度と比べてみる。粗粒側の小礫、極粗砂の頻度がなくなり、その代わり細粒側の細砂、微砂の頻度が出現した。去年は頻度の大きさの順番から、粗砂、極粗砂、中砂となったが、今回は中砂、細砂、粗砂となり、細粒側の頻度が大きく、特に中砂の65.3%が際立つ。水深5.0mの極深部では、南西から北東へ向かう猛烈に発達した沿岸流が上手側測線のTrough(底)に堆積の砂・礫に分級作用を加えて運び、堆積させる。もう一方の離岸流とベクトルの合成で発生する水の流れは、弧状となった砂州の岸側縁を沿うように砂を運び、極浅部を沖側から押すように極深部を埋め立て、堆積させた。上述の堆積過程により、細粒側の中砂の頻度が大きくなったのである。しかし、この測線でこの位置のみ若干中砂の頻度が小さく、粗砂の頻度もわずかに大きくなり、粗粒化した。水深5.0mの極浅部では、沿岸流の上手側隣り中心部の測線を離岸流が猛烈な勢いで流れ下り、沿岸流とベクトルの合成で分岐した水の流れが弧状になった砂州の岸側縁に沿って回り込むように、またこの位置

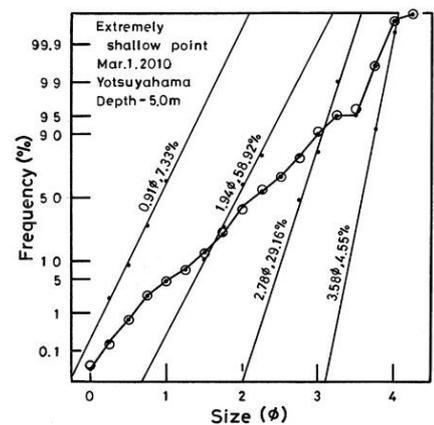
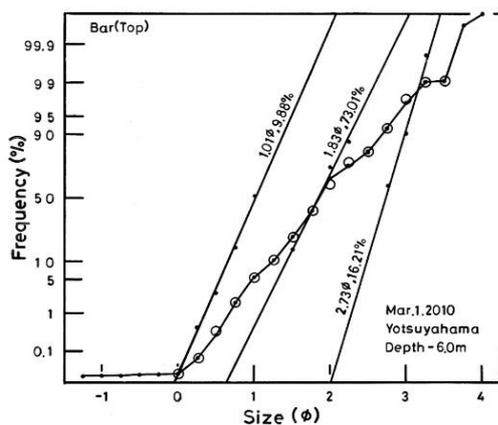
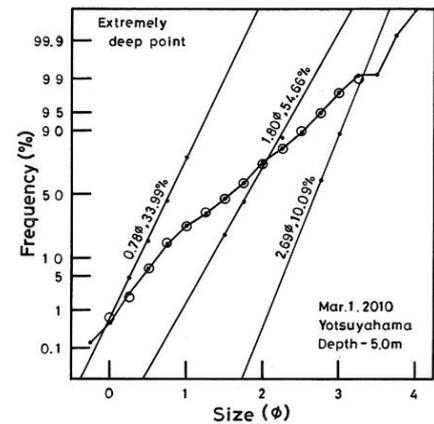
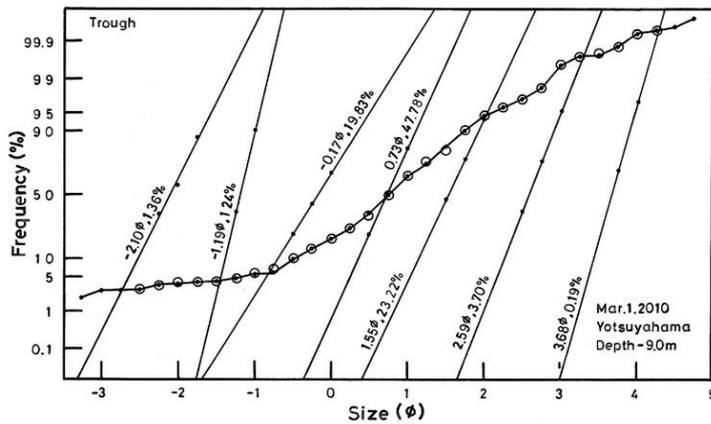
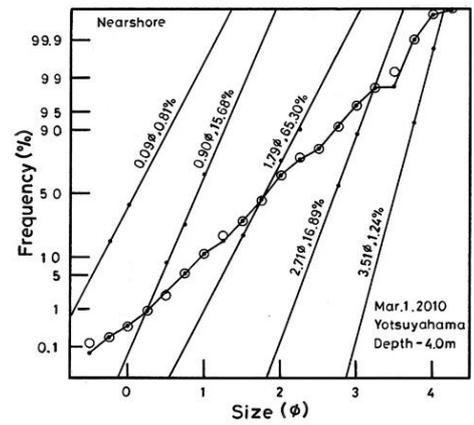
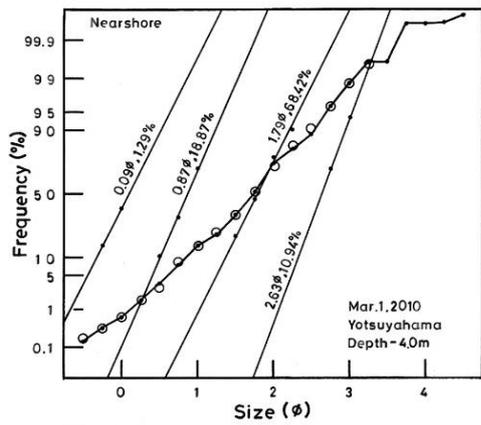


Fig.21 At the central measuring line on the crescent-shaped bar.

Fig.22 At the jointed measuring line on the crescent-shaped bar.

の沖側から押すように砂を堆積させた。このような堆積過程から、粗粒側の粗砂の頻度が小さくなり、細粒側の中砂と細砂の頻度が大きく、微砂の頻度が出現した。

(4) 2010年8月17日

弧状沿岸砂州中心部の測線 (Fig. 23) において、水深 4.0m の Nearshore では、Mdφ が -2.19φ の中礫を 0.9%、-1.15φ の小礫を 2.2%、-0.19φ の極粗砂を 51.2%、0.52φ の粗砂を 41.6%、1.51φ の中砂を 3.1%、2.44φ の細砂を 0.4%、でそれぞれ構成する。水深 10.0m の Trough (底) では、Mdφ が -1.78φ ~ -1.15φ の

小礫を 8.5%、-0.52φ の極粗砂を 44.2%、0.55φ の粗砂を 32.6%、1.61φ の中砂を 13.0%、2.63φ の細砂を 1.2%、でそれぞれ構成している。水深 7.0m の Bar (Top) では、Mdφ が 0.51φ ~ 0.99φ の粗砂を 7.3%、1.88φ の中砂を 63.8%、2.76φ ~ 2.92φ の細砂を 28.8%、でそれぞれ構成となる。

この測線の地形 (Bar 型断面形) は、試料採取時に深浅測量ができず、11月7日に測量の地形上に点線で描いた。水深 4.0m の Nearshore では、試料採取の時期が夏季の真っ最中で、主に北東から南西へ向かう沿岸流が堆積過程に大きく拘わっているようだ。冬季で前回

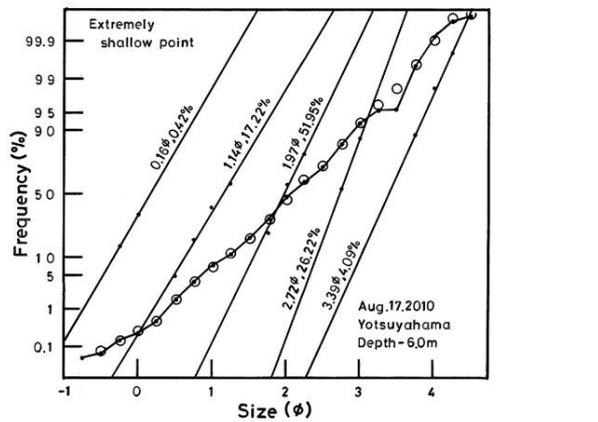
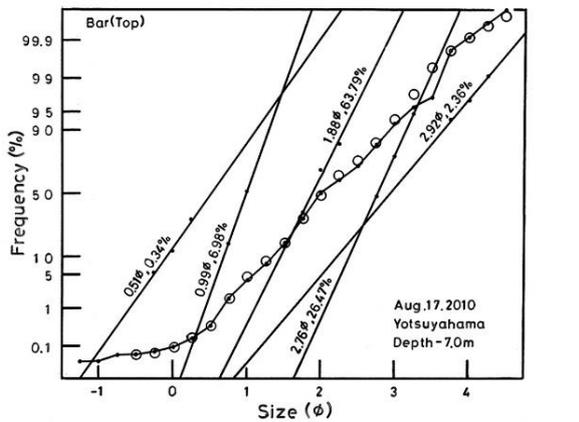
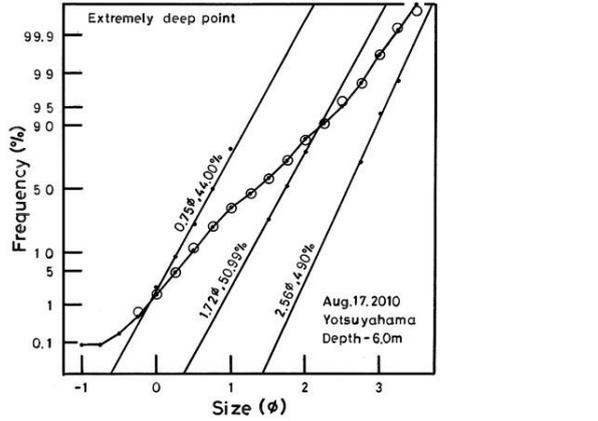
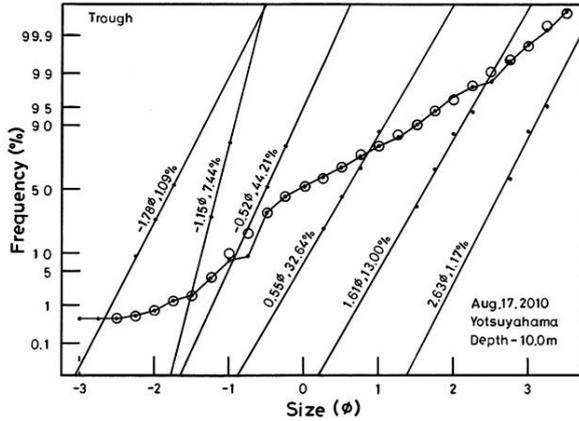
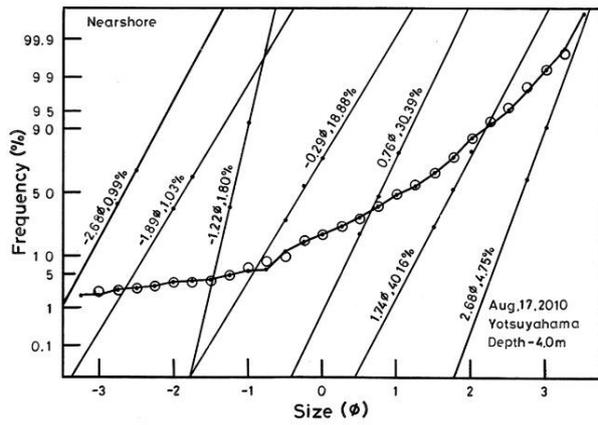
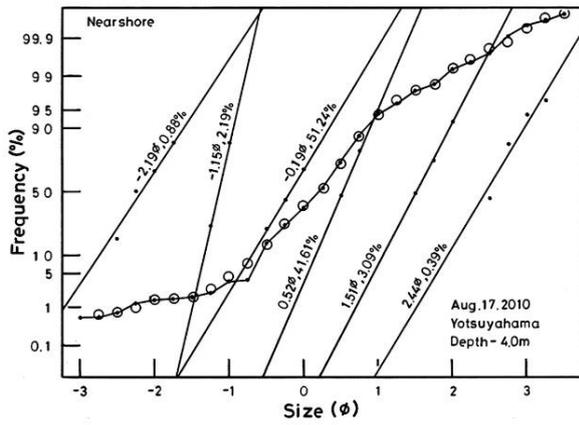


Fig.23 At the central measuring line on the crescent-shaped bar.

Fig.24 At the jointed measuring line on the crescent-shaped bar.

この位置と比べて粗粒側の粗砂の頻度が2倍になり、極粗砂が51.2%、礫が3.1%、となって出現した。逆に細粒側の中砂が3.1%と極端に頻度が小さく、細砂もそうだった。要は、この時期、この位置では地形が冬季のなごりとあって、底質は粗粒化が大きく進む事がわかった。水深10.0mのTrough(底)では、この時期、冬季のなごりの地形であり、また、この測線一番の堆積場でもある。冬季より激しくないにしろ、Nearshoreを流れ下る離岸流が粗粒側に分級作用を加えながら砂・礫を運び、この位置に堆積させた。一方、北東から南西へ向かう沿岸流も粗粒側の頻度が大きく

なるように運び、堆積させたようだ。上述の事象から、この測線のNearshoreの位置より極粗砂、粗砂の頻度が若干小さくなり、細粒側の中砂、細砂の頻度が僅か大きくなった。また、冬季で前回のこの位置と比べて、粗粒側の礫、極粗砂の頻度が大きく、細粒側の粗砂、中砂、細砂のそれが小さくなり、微砂の頻度が消滅した。水深7.0mのBar(Top)では、冬季のような強烈な水の流れではないにしろ、離岸流が急傾斜となった砂州岸側斜面を迫り上がるように、Trough(底)に多量堆積の砂・礫に対して分級作用を加えながら運び上げ、この位置に堆積させた。上述の事象により、冬季で

前回のこの位置に比べて中砂の頻度が小さく、細砂のそれが大きくそれぞれ変化し、粗砂の頻度が出現した。

弧状沿岸砂州接合部の測線 (Fig. 24) において、水深 4.0m の Nearshore では、Mdφ が -2.68φ の中礫を 1.0%、-1.89~-1.22φ の小礫を 2.8%、-0.29φ の極粗砂を 18.9%、0.76φ の粗砂を 30.4%、1.74φ の中砂を 40.2%、2.68φ の細砂を 4.8%、でそれぞれ構成する。水深 6.0m の極深部では、Mdφ が 0.75φ の粗砂を 44.0%、1.72φ の中砂を 51.0%、2.56φ の細砂を 4.9%、でそれぞれ構成している。水深 6.0m の極浅部では、Mdφ が 0.16φ の粗砂を 0.4%、1.14~1.97φ の中砂を 69.2%、2.72φ の細砂を 26.2%、3.39φ の微砂を 4.1%、でそれぞれ構成となる。

この測線の地形 (Step 型断面形) は、中心部の測線 (Bar 型断面形) と同様な手法で描いており、各箇所 の水深は正確である。完全に柵状化し、極深部と極浅部の比高も皆無となった。水深 4.0m の Nearshore では、冬季で前回のこの位置と比べて、細粒側の中砂、細砂の頻度が小さく、および微砂の頻度が消滅した。一方、粗粒側の粗砂の頻度が大きく、および礫、極粗砂の頻度が出現になった。夏季の後半の頃で、北東から南西へ向かって流れる沿岸流が、この位置において粗粒側の頻度を大きくするのに大きな貢献をした。水深 6.0m の極深部では、前回のこの位置と比べて粗砂の頻度が微少大きく、中砂、細砂の頻度が若干小さい。要は、微妙に粗粒化となったようだ。水深 6.0m の極浅部では、前回のこの位置と比べて粗砂の頻度が小さく、中砂の頻度が大きくなり、細砂、微砂で微少に頻度を小さくしている。この測線の各地点において粗粒化する事によって、微少かつ微妙に粗粒側の頻度が大きくなっている事がわかる。

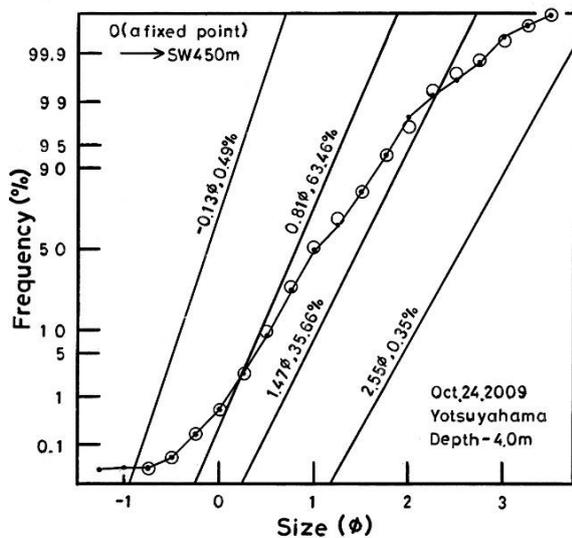


Fig.25 On the submerged breakwater.

(5) 人工リーフ (潜堤) の上、およびその沖側近傍

(Fig. 25)において、Mdφ が -0.13φ の極粗砂を 0.5%、0.81φ の粗砂を 63.5%、1.47φ の中砂を 35.7%、2.55φ の細砂を 0.4%、でそれぞれ構成している。

上述の集団を構成する頻度と 4 回の中心部の測線 (Bar 型断面形) の各位置でのそれを比較し、考察してみる。2008 年 6 月 28 日の水深 4.0m の Nearshore と 2010 年 3 月 1 日の水深 9.0m の Trough (底) における集団構成が各々頻度に増減の差異があるにしろ、類似しているようだ。前者の地形 (Fig. 8) をみると、水深 4.0m の Nearshore の位置に厚さ 0.5m くらい の膨らみがある。南西から北東へ向かう沿岸流によって、人工リーフ (潜堤) 上や周辺に堆積の砂・礫が分級作用を受けながら運ばれて来て、栈橋の橋脚に塞き止められ堆積したのではないかと。次に後者になると、栈橋撤去後一年半過ぎ、また冬季でもある事から、自然の節理に従った二つの水の流れにより分級作用を受けながら運ばれて来て、水深 9.0m の Trough (底) に堆積したであろう。

4. 結語

以上の調査・研究によって次のような知見を得る事ができた。しかし、まだまだ確認の域に達するには程遠い。これからも続けて行なって行く必要があるのではないかと。

(1) 汀線より沖へ約 200m の地点を汀線に沿った海底地形

両側の人工構造物に挟まれた区域に不完全ながら二つの谷があり、それらに対応する弧状沿岸砂州があった。観測栈橋撤去後、北東側の谷が砂・礫で埋まっていた。

(2) 岸沖方向の海底地形

弧状沿岸砂州中心部の測線では、典型的な Bar 型断面形である。観測栈橋撤去前から後になるにつれて、Trough (底) と Bar (Top) の比高が約 2.0m から約 3.0m と大きくなった。また、双方の位置が約 50m 程沖側へそれぞれ移動した。

弧状沿岸砂州接合部の測線では、観測栈橋撤去前まで極深部と極浅部の比高が約 2.0m 程あり、典型的な Step 型断面形を示した。栈橋撤去後一年目頃から、極深部が沖側から岸側へ向かって砂で埋め立てられて行った。それに伴ない双方の比高も無くなりつつ、汀線に近付いて行き、柵状化したのである。

(3) 海底底質の粒度組成 (近似計算による)

弧状沿岸砂州中心部の測線 (Bar 型断面形) において、Mdφ は Nearshore で、岸から沖へ向かって中砂、粗砂の順で値が小さくなって行く。極粗砂で最小値を

示し、Trough（底）の位置となる。その位置より沖側へ細粒化して行き、微砂に極めて近い細砂の組成になり Offshore の位置である。全体のおよその傾向は“V 字形”を示す。

$\sigma\phi$ は、栈橋撤去前まで、と一年後の二者が Trough（底）の位置前後を頂点とする“きれいな山型”の形状で変化する。一年半（冬季）と二年経過後の二者については、類似な位置を頂点とする“変則的な山型”の形状で変化した。

$\alpha\phi$ は、四回のうち三回が負にシフトする丸より正にシフトする丸の方が同数か、多い。栈橋撤去後一年目のみが 1 丸の正、11 丸の負とそれぞれシフトした。

$\beta\phi$ は、 $\sigma\phi$ が“山型の形状”で変化したのに対し、全体的に大きな値で推移している。栈橋撤去後一年目のみが 2 丸だけ $\sigma\phi$ と逆相関し、常道となった。

弧状沿岸砂州接合部の測線（Step 型断面形）において、栈橋撤去前まで、と一年半後の冬季で、 $Md\phi$ が中砂、細砂と沖へ向かって細粒化の組成である。撤去後一年目と二年目で、極粗砂、粗砂、中砂、細砂の順に沖へ向かって細粒化の組成になった。

栈橋撤去前まで、と撤去後一年目の地形にそれぞれ極深部、極浅部とで約 1.0m~2.0m の比高が生じた。 $\sigma\phi$ は例外や条件により“N の文字”を裏返したような形状で、全体に右肩下がりの沖へ向かって淘汰が良くなる傾向を示す。栈橋撤去後一年半（冬季）と二年目では地形に比高がほとんどなく、岸から沖へ向かって弧を描くように落ちて行っている。比高の存在が $\sigma\phi$ 、および粒度組成の変化を大きく左右する事がわかる。

栈橋撤去前と撤去後一年目では、極深部と極浅部の比高の存在で、 $\alpha\phi$ が極端に二分する事になった。撤去後一年半（冬季）と二年目では比高もほとんどなくなり、 $\alpha\phi$ の丸の数が半々か、また正側へ優勢にシフトした。

$\beta\phi$ は、全体が大きな値を推移し、 $\sigma\phi$ との逆相関の傾向もあまりない。

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

弧状沿岸砂州中心部の測線において、 $Md\phi - \sigma\phi$ は変化の幅が広く、 $Md\phi$ が細粒化するにつれて右肩下がりに淘汰も良くなる傾向がある。 $Md\phi - \alpha\phi$ は同じく変化の幅が広く、“W の文字”のような形状で $Md\phi$ が細粒化するにつれて正、負、正、負、正とシフトする傾向のようだ。しかし、微妙に右肩下がりで負にシフトが増加している。 $Md\phi$ が 1.0 ϕ より粗粒側で区分 (a) が区分 (b) に取り囲まれる様子である。

弧状沿岸砂州接合部の測線において、 $Md\phi - \sigma\phi$ は変化の幅が狭く、右上寄りに小規模な右肩下がりの傾向がある。 $Md\phi$ が 2.0 ϕ より粗粒側で区分 (f) が区分 (e) に取り囲まれる様子である。 $Md\phi - \alpha\phi$ は小規

模で奇妙な形状をし、微妙に右肩上がりや正にシフトの丸の数が増加しているようだ。 $Md\phi$ が 2.0 ϕ より粗粒側で上述同様に区分 (f) が区分 (e) に取り囲まれている様子である。弧状沿岸砂州中心部の測線の区分 (d) と接合部の測線の区分 (h) の負、正へとそれぞれシフトする丸の数が完全に逆転している。

(5) 構成正規分布集団による解析

弧状沿岸砂州中心部の測線（Bar 型断面形）において、水深 4.0m の Nearshore は極粗砂、粗砂、中砂が集団を構成する頻度の大きさの一番と二番を成している。水深 9.0m、10.0m の Trough（底）で、礫、極粗砂、粗砂、中砂が集団を構成する頻度の大きさの一番と二番となった。水深 6.0m、7.0m の Bar（Top）では、中砂、細砂が集団を構成する頻度の大きさの一番と二番を占めた。

弧状沿岸砂州接合部の測線（Step 型断面形）において、水深 4.0m の Nearshore は極粗砂、粗砂、中砂、細砂が集団を構成する頻度の大きさの一番と二番を示す。水深 5.0m、6.0m の極深部は極粗砂、粗砂、中砂が集団を構成する頻度の大きさの一番と二番になった。水深 4.0m、5.0m、6.0m の極浅部では、中砂、細砂、微砂が集団を構成する頻度の大きさの一番と二番を占めた。

人工リーフ（潜堤）上およびその沖側近傍において、集団を構成する頻度が南西から北東へ向かう沿岸流の下手側の Nearshore および Trough（底）のそれと大体類似している。この事象から、沿岸流によって運ばれて堆積した事が明白である。よってこの漂砂源はどこか、探求する事が重要な課題となる。

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.
- 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一，京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.
- 内山 清 (2010)：観測栈橋近傍の海底地形と海底底質の粒度組成一海底地形の変形と海底底質の粒度組成の岸沖方向変異一，京都大学防災研究所年報，第 53 号 B，pp. 629-652.
- 内山 清 (2012)：大潟海岸・上下浜の海浜地形と海浜底質の粒度組成一主にビーチカスプにおいて一，京都大学防災研究所年報，第 55 号 B，pp. 351-379.
- 内山 清 (2016)：大潟海岸・上下浜の海浜地形と海底底質の粒度組成一主に弧状沿岸砂州において一，京都大学防災研究所年報，第 59 号 B，pp. 447-474.
- 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一形成時代についての火山灰編年学的考察一，地学雑誌，pp. 1-16.

(論文受理日：2019年6月17日)