

大潟海岸・上下浜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—

The Profile of the Sea Bottom and the Grain Size Composition of the Sediment on the Sea Bottom in Jogehama, Ogata Coast — As for the Crescent-Shaped Bar, Principally —

内山 清

Kiyoshi UCHIYAMA

Synopsis

Ogata Wave Observatory, Kyoto University 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. Jogehama coast is another coast in Joetsu-Ogata Coast and is in a natural state. The distance between Yotsuyahama and Jogehama coast is about 3.0km long. The seashore between Yotsuyahama and Jogehama coast has been suffered from severe beach erosion.

Both sounding and sediment sampling on the sea bottom have been carried out in Jogehama coast on Nov.7 2010, July.27 2011, July.24 2012. The longshore measurement section is about 200m offshore from shoreline, and the cross-shore measurement sections are at the joint region and the central region of a crescent-shaped bar. The sediment sampling has been conducted in the cross-shore measurement sections at intervals of 1.0m deep.

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

Keywords : jointed measuring line of a crescent-shaped bar, central measuring line of a crescent-shaped bar, extremely deep region, extremely shallow region, trough, bar

1. 緒言

大潟海岸の中心部の四ツ屋浜より、やや北東側に位置する上下浜の海岸は砂・礫海岸であり、唯一、細やかな海浜の形成がある海岸である。また、砂丘の発達も見受けられる。特に、海浜の後浜基部に形成の海岸

砂丘は、砂州と海浜間の砂・礫の循環に重要な役目を果たす事になる。また、この地点より北東側、米山崎の岩石海岸手前まで、細やかな海浜が見られる。

(内山, 2004) のおよそ 10 年前は、上下浜海岸の海浜が冬季には消滅し、波も傾斜護岸の中間まで駆け上がっていた。それが、近年は砂・礫の収支のバランス

がとれて、安定したかに見受けられる。近年において、冬季には海浜の消滅がなくなったのである。このことから、あらゆる事象よりも先行して変異する海底、特に弧状沿岸砂州において、砂・礫の流動性について調査し、また漂砂源とそれの堆積過程を導き出す必要がある。

自然の節理に従って、あらゆる要素と緊密に、そして微妙にバランスをとりながら動作し、また、“ゆらぎ”を伴って“カオス的”に変化する事で、この地点における海底地形特性と海底底質の粒度組成を考察し、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る。

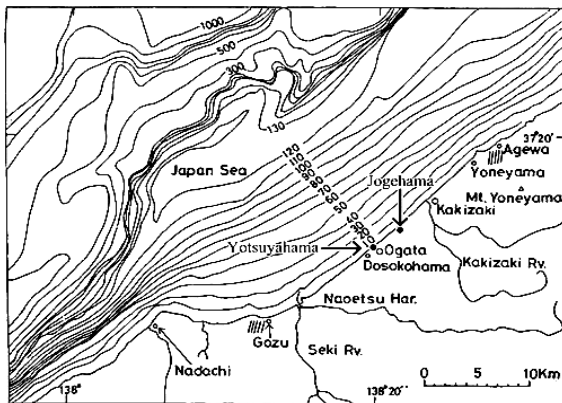


Fig.1 Positional topography of Ogata Coast.

2. 汀線から沖へ約 200m の地点の海底地形と岸沖方向の海底地形

2.1 汀線に沿った海底地形

(Fig. 2) ①に示すように、汀線から沖へ約 200m の地点を南西から北東の方向へ、汀線に沿って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、山と谷が交互に出現する。弧状沿岸砂州においては、この山が接合部に、谷が中心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、弧状沿岸砂州接合部が海浜で大カスプの突出部に、弧状沿岸砂州中心部が海浜で大カスプの湾入部にそれぞれ対応し、対になって移動する事となる。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。上述のすべて、形成の第一条件は後で詳述するが、砂・礫海岸である事である。

前述の意味において、今回は 2010 年 11 月 7 日 (Fig. 3), 2011 年 7 月 27 日 (Fig. 4), 2012 年 7 月 24 日 (Fig. 5), の三つの地形・断面形を考察する。

(1) 2010 年 11 月 7 日の海底地形 (Fig. 3)

定点 0 付近に谷があり、定点 0 より南西側へ約 400m 付近へ約 700m 付近が山となっていて、幅が広い。一応、

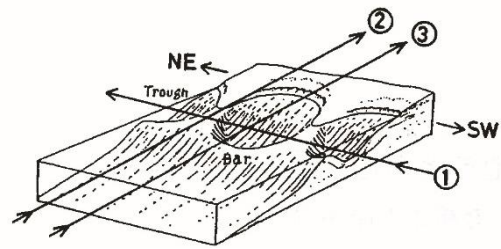


Fig.2 The measuring lines and the model graph, on the crescent-shaped bar.

これの頂点を、定点 0 より南西側へ約 400m 付近とする。定点 0 より南西側へ約 1,200m 付近に谷がある。一方、定点 0 より北東側へ約 400m 付近に山があり、定点 0 より北東側へ約 900m 付近に谷がある。この図中における最長の波長が約 1,200m で、最大の比高が約 2.3m となる。前回 (内山, 2004) (Fig. 3, 4, 5, 6) と比べたとき、あまり急激な変化はないが、丸みを帯びている。全体的に水深が浅く、砂の堆積があったようだ。

(2) 2011 年 7 月 27 日の海底地形 (Fig. 4)

定点 0 より南西側へ約 200m 付近に山があり、定点 0 より南西側へ約 1,000m 付近に谷がある。一方、定点 0 より北東側へ約 200m 付近に谷があり、定点 0 より北東側へ約 600m 付近に山がある。しかし、定点 0 より北東側へ約 950m 付近にも類似な山があるが、北東側へ約 600m 付近の山を認定しておく。この地形の中における最長の波長が約 1,200m で、最大比高が約 3.6m である。

ここで、2010 年 11 月 7 日に測定の地形 (Fig. 3) と比較する。波長が大体同値であるが、それぞれの地形の中で山を比較すると、南西側のそれは約 1.0m 近く浅くなり、北東側のそれは約 0.5m 浅くなっている。一方、谷については、南西側のそれは約 0.2~0.3m 程深くなり、定点 0、または北東側のそれは、ほとんど水深に変わらぬ。前述の事象から、山あるいは谷は北東側へ約 200m 移動した事がわかる。測量日が 7 月 27 日である事から、夏季の気象条件に海底が左右される入り口のようなものである。前述の事象は冬季の厳しい洗礼を受けた海底地形の“なごり”である。強風が西および北西から来る事で、波も発達し、西寄りから来る。それにより、沿岸流が南西から北東の方向へ激流と化す。離岸流も激流となって流れ下がる。それらの事が (Fig. 4) の地形に明瞭に刻まれている。定点 0 より南西側へ約 1,000m 付近の谷では激流となって離岸流が流れ下がり、水深が少少深くなっている事から、砂が削り取られたようだ。沿岸流は南西から北東の方向へ激流となって流れた事で、離岸流とのベクトルの合成が起こり、北へ向かう事になる。その際、弧状沿岸砂州岸側斜面を回り込むようにして砂を削り、また、接

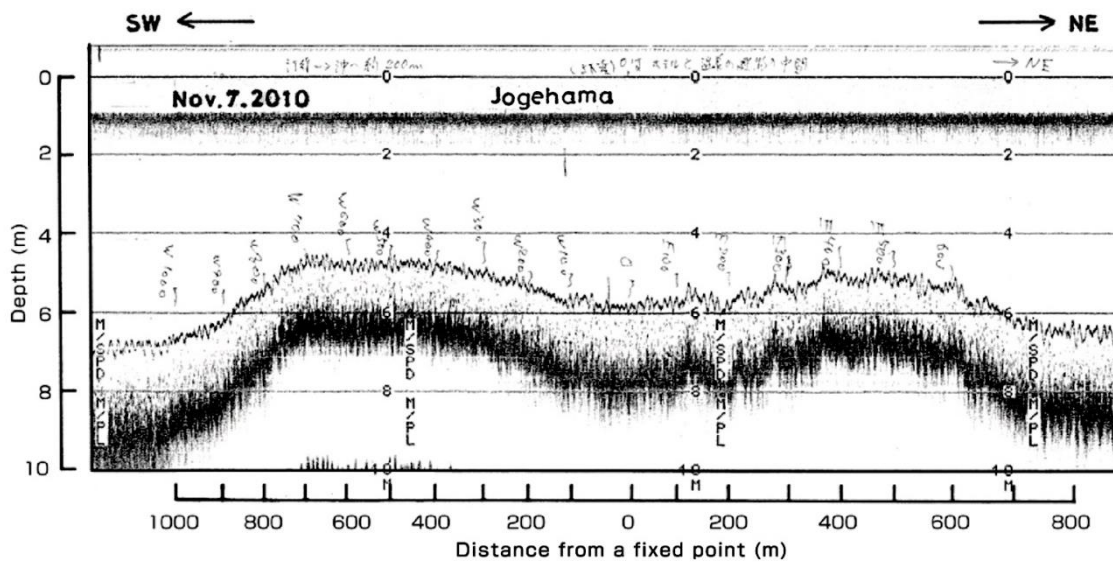


Fig.3 The profile of the sea bottom, from south west to north east, 200m offshore along the shoreline.

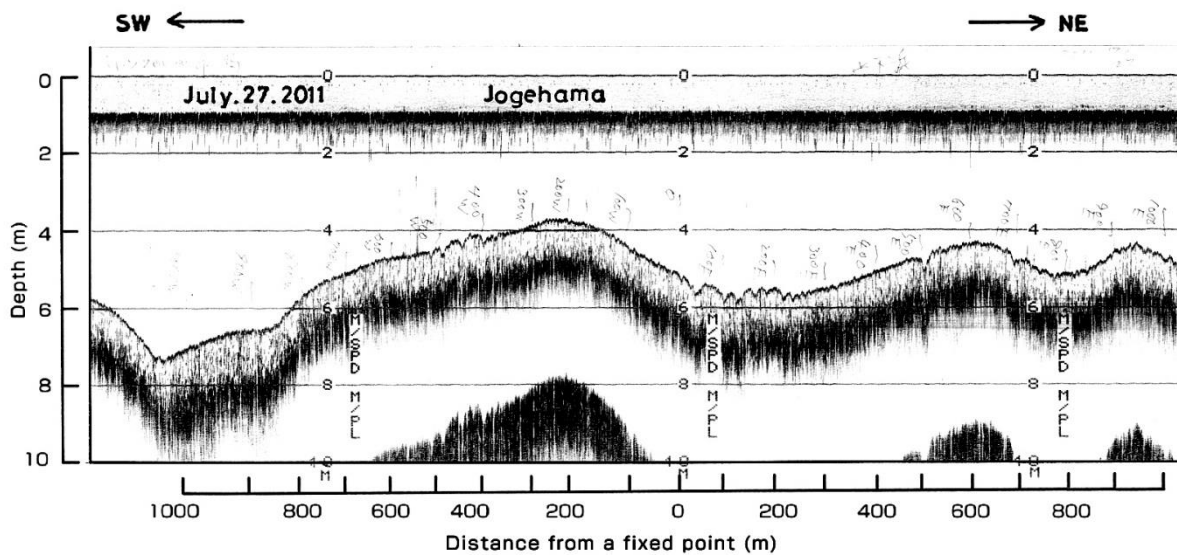


Fig.4 The profile of the sea bottom, from south west to north east, about 200m offshore along the shoreline.

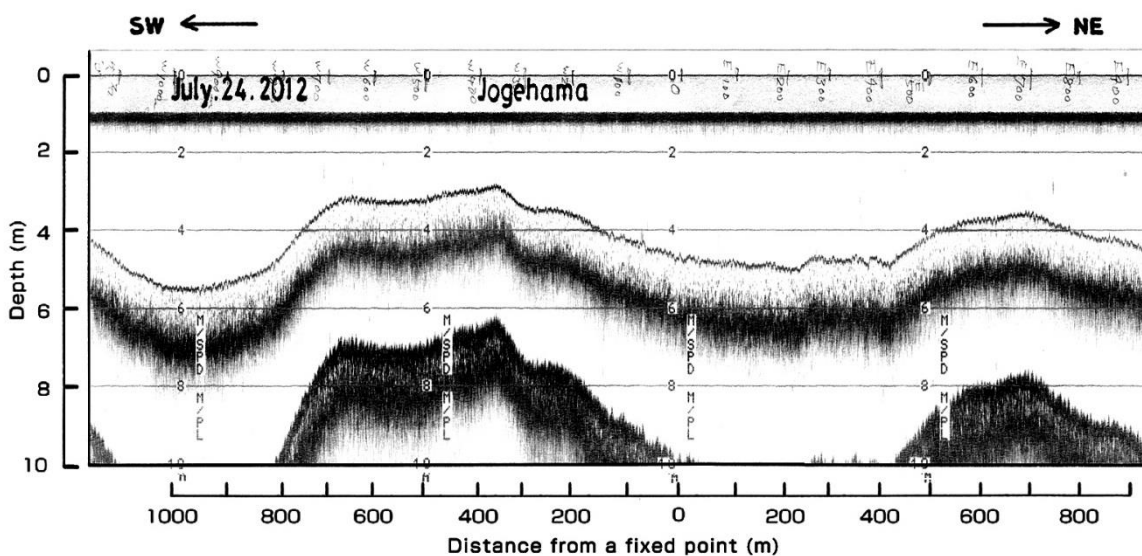


Fig.5 The profile of the sea bottom, from south west to north east, about 200m offshore along the shoreline.

合部の南西側斜面を削り、やや岸側に向きを変えながら、それらの削られた砂を接合部の北東側斜面へと押しやり、徐々に北東側へ砂が移動し、山ができていく。定点0より北東側へ約600m付近の山は上述の事象により、(Fig. 3)の定点0より北東側へ約400m付近の位置から約200m程北東の方向へ移動し、約0.5m程の砂を堆積して形成された。定点0より北東側へ約950m付近の山は、前年の(Fig. 3)の地形にない。この調査日は7月27日という事で、夏季としての気象条件の頻度が高まっていく頃でもある。この事により、この山のすぐ北東側隣の谷(図の範囲外)で、沿岸流および離岸流に上述のような作用があり、砂が堆積して山の出現となったのではないかと推察される。

(3) 2012年7月24日の海底地形 (Fig. 5)

定点0より南西側へ約400m付近に山があり、幅が広く約200m近くに及ぶ。ここでは、定点0より南西側へ約400m付近を頂点とする。定点0より南西側へ約1,000m付近に谷がある。一方、定点0より北東側へ約200m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。最長の波長は約1,200mで、前年(Fig. 4)と類似する。比高は最大で2.5mである。

ここで、2011年7月27日の地形(Fig. 4)と比較すると、定点0より南西側へ約400m付近の山と南西側へ約1,000m付近の谷は、それぞれ約0.8mおよび約2.0mの砂が堆積し、浅くなっている。一方、定点0より北東側へ約700m付近の山と北東側へ約200m付近の谷は、それぞれ約0.6mおよび約0.5mの砂が堆積し、浅くなっている。定点0より南西側へ約1,000m付近の谷は移動した気配がない。定点0より南西側へ約400m付近の山は前年(Fig. 4)の地形の位置より南西側へ約200m程移動したようだ。一方、定点0より北東側へ約700m付近の山は、南西側、および北東側からの両方から前述のような作用を受けて、前年地形(Fig. 4)での二つの山が合体し、一つの山が出現した。全体的に見て、北東側から南西側へ向かう水の流れが南西側から北東側へ向かう水の流れよりも優勢に作用して南西側の方向へ動いたようだ。

(4) 前回と今回の比較

前回(内山, 2004)(Fig. 3, 4, 5, 6)の波長は、最長が約700mで、最短が約400mである。比高は、最大が約3.9mで、最小が約0.9mとなる。それに比べて今回(Fig. 3, 4, 5)の波長は、最長が約1,200mで、最短が約300mである。比高は、最大が約3.6mで、最小が約0.8mとなる。前回の地形は荒荒しく変化に富んでいて、小刻みに山、あるいは谷が移動しているように見受けられる。前述の様子から全体が侵食の方向へ進んでいるように思う。一方、今回は、地形が丸みを帯びて滑らかである。夏季および冬季における気象条件

による波や水の流れによる動作に従って、山や谷は移動および変化・変異しているようだ。山の頂点で一番水深が浅い地点が3.0mを示すように、全体が堆積の方向へ進んでいるようだ。

両者に共通する事は、定点0より北東側において、前の測量時になかった山が、後の測量時に大きな山となって出現している事。つまり、両者において出現した山の夏季における頻度が高い北東から南西へ向かう沿岸流の上手側に漂砂源がある事を物語っている。この事は後述するが、上下浜よりも北東側において、柿崎漁港突堤の根元で護岸として既設のブロックが破壊され、そこから多量の海岸砂丘砂の流出がある事が判明している。

2.2 岸沖方向の海底地形

(Fig. 2) -②, ③に示すように、弧状沿岸砂州接合部、中心部をそれぞれ沖から岸へ向かって深淺測量を行なった海底地形である。また、一般に前者をStep型断面形、後者をBar型断面形と言う。

(1) 2010年11月7日

Step型断面形(Fig. 6)は、定点0より南西側へ約400m付近の地点を(Fig. 2) -②のように水深10.0mの地点から水深3.0mの地点まで、岸に向かって測量した地形である。汀線~汀線より沖へ約50m付近まで急角度で落ち込んで、水深が3.0mに達する。この地点から、汀線より沖へ約150m付近まで緩やかな角度で水深を増して、水深が4.0mに達する。前述の約100mの間に弧状沿岸砂州接合部の極深部と極浅部が存在したのではないかと推察される。10年程前に測量の地形(内山, 2004)では、汀線より沖へ約100m付近~沖へ約400m付近で、比高も約1.0~1.5mと、それらを形成していた。それが、今回は極深部が砂に埋まった状態で、極深部と極浅部の比高はない。その上、前述の事象を保ちながら汀線に徐々に近付きつつある。汀線より沖へ約200m~沖へ約700m付近まで緩やかな角度で水深を増して行って水深10.0mに達する。従って、10年程前に測量の地形(内山, 2004)の水深10.0mでOffshoreの位置より約50~200m程、汀線に近付いた事になる。また、平均の地形角度も微少、急になったようだ。

Bar型断面形(Fig. 7)は、定点0の地点を(Fig. 2) -③のように水深10.0mの地点から水深3.0mの地点まで、岸に向かって測量した地形である。汀線~汀線より沖へ約100m付近までやや急傾斜で水深を増して行き、水深が3.0mに達する。汀線より沖へ約100m付近~沖へ約200m付近まで、前述の範囲の角度より若干プラスに落ちて行き、水深6.0m前後に達する。汀線より沖へ約200m付近~沖へ約400m付近まで、岸側から沖側へ向かって水深を微少に減じる。ちょうど“棚”

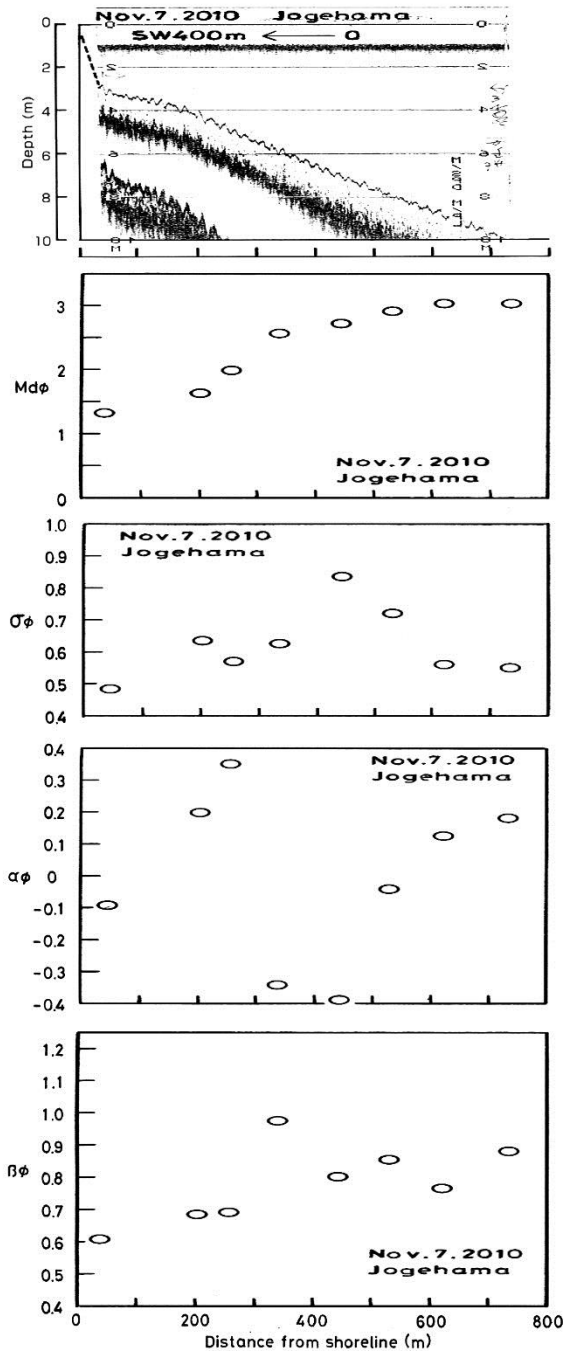


Fig.6 The profile of the sea bottom, from shoreline to offshore, and each distributions of those grain size characteristics of the sediment on the sea bottom. At the jointed measuring line on the crescent-shaped bar.

を思わせるようだ。この間、約 200m 程に弧状沿岸砂州中心部の Trough と Bar が存在した事だろう。10 年程前に測定の地形 (内山, 2004) では、汀線より沖へ約 200m 付近～沖へ約 600m 付近で、比高も約 1.0～1.5m と、それらが形成していた。それが今回は、Trough が砂に埋まっいて、比高も微少となった。その上、前述の事象を保ちながら、徐々に汀線に近付きつつある。

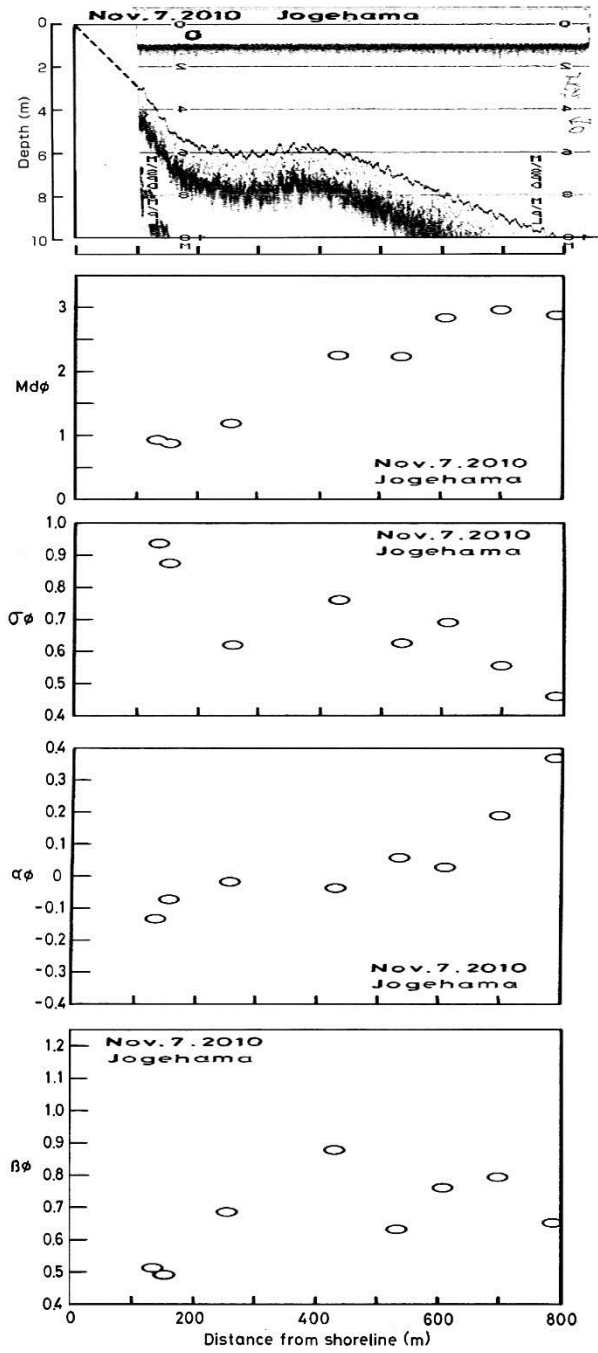


Fig.7 The profile of the sea bottom, from shoreline to offshore, and each distributions of those grain size characteristics of the sediment on the sea bottom. At the central measuring line on the crescent-shaped bar.

従って、Trough と Bar の位置が、10 年程前に測定の地形 (内山, 2004) のそれらの位置より、それぞれ約 150～200m 程汀線に近付いた事になる。汀線より沖へ約 400m 付近～沖へ約 800m 付近まで、なだらかに水深を増して行き、水深 10.0m の Offshore に達する。よって、10 年程前に測定の地形 (内山, 2004) の水深 10.0m の位置より約 50～200m 程、汀線に近付いた事となる。

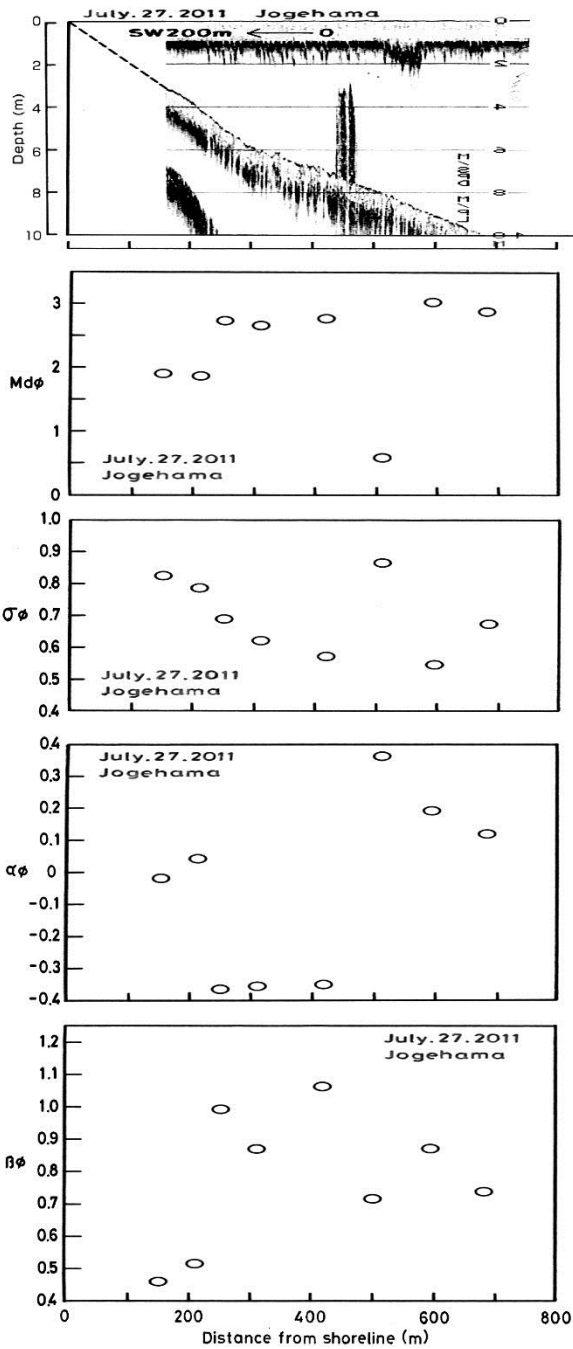


Fig.8 The profile of the sea bottom, from shoreline to offshore, and each distributions of those grain size characteristics of the sediment on the sea bottom. At the jointed measuring line on the crescent-shaped bar.

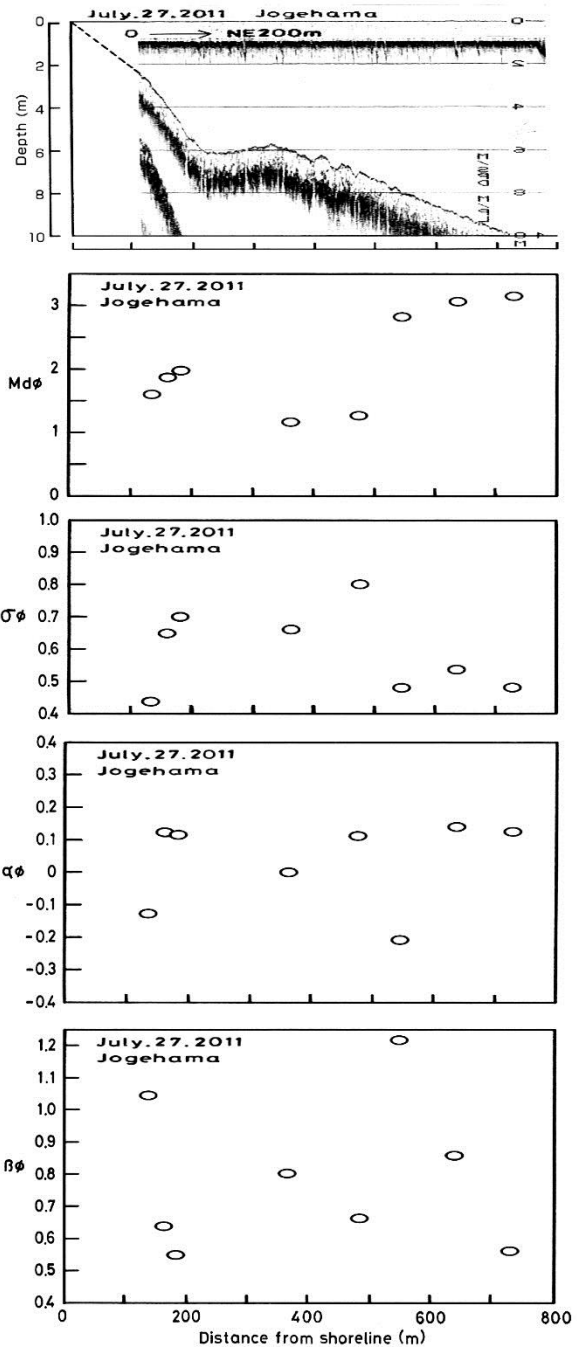


Fig.9 The profile of the sea bottom, from shoreline to offshore, and each distributions of those grain size characteristics of the sediment on the sea bottom. At the central measuring line on the crescent-shaped bar.

また、汀線～水深 10.0m・Offshore までの平均地形角度も微小、急になったようだ。

(2) 2011 年 7 月 27 日

Step 型断面形 (Fig. 8) は、定点 0 より南西側へ約 200m 付近の地点を (Fig. 2) -②のように、水深 10.0m の地点から水深 3.0m の地点まで、岸に向かって測量した地形である。汀線～汀線より沖へ約 150m 付近まで緩

やかな角度で水深を増して行って、水深が 3.0m に達する。汀線より沖へ約 150m 付近～沖へ約 250m 付近までの約 100m の間で微少な膨らみがある。つまり、この箇所が弧状沿岸砂州接合部の極深部と極浅部としての“なごり”ではないだろうか。極深部らしき箇所に砂が多量に堆積し、極浅部らしき箇所との区別もなくなってしまい、比高もなにもない。10 年程前に測量の

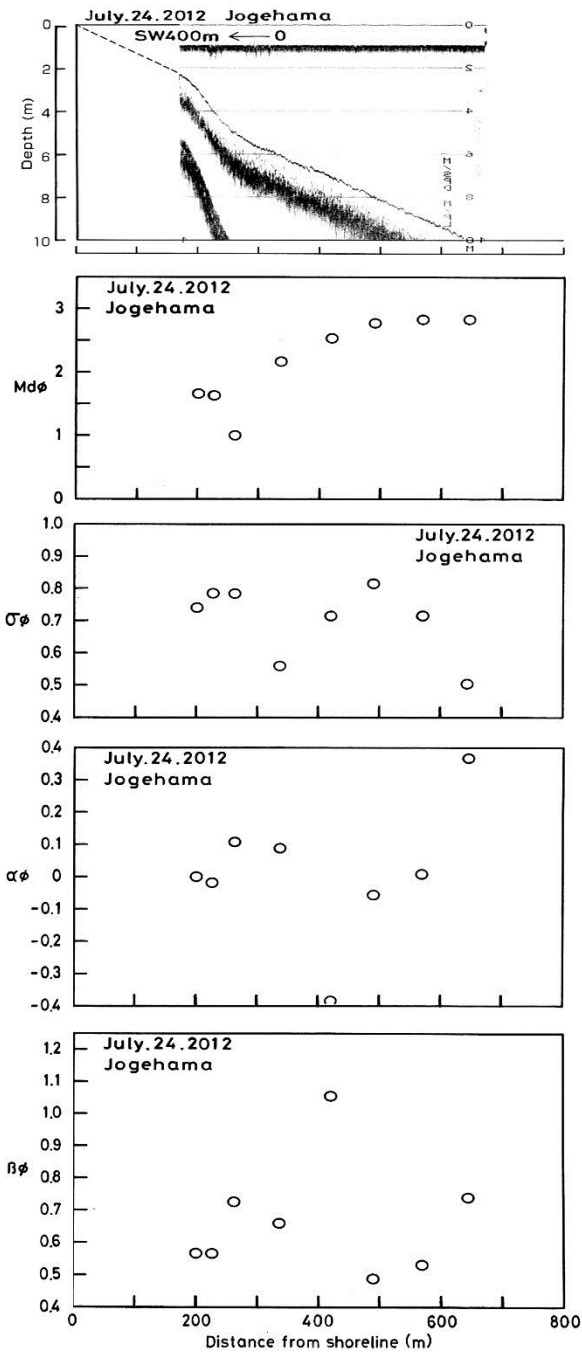


Fig.10 The profile of the sea bottom, from shoreline to offshore, and each distributions of those grain size characteristics of the sediment on the sea bottom. At the jointed measuring line on the crescent-shaped bar.

地形 (内山, 2004) の水深 10.0m の Offshore の位置より約 100~250m 程, 汀線に近付いた事になる. また, 汀線~水深 10.0m・Offshore までのこの地形の平均角度も微少なり, 急になったようだ.

Bar 型断面形 (Fig. 9) は, 定点 0 より北東側へ約 200m の地点を (Fig. 2) -③のように, 水深 10.0m の地点から水深 3.0m の地点まで, 岸に向かって測量した地形で

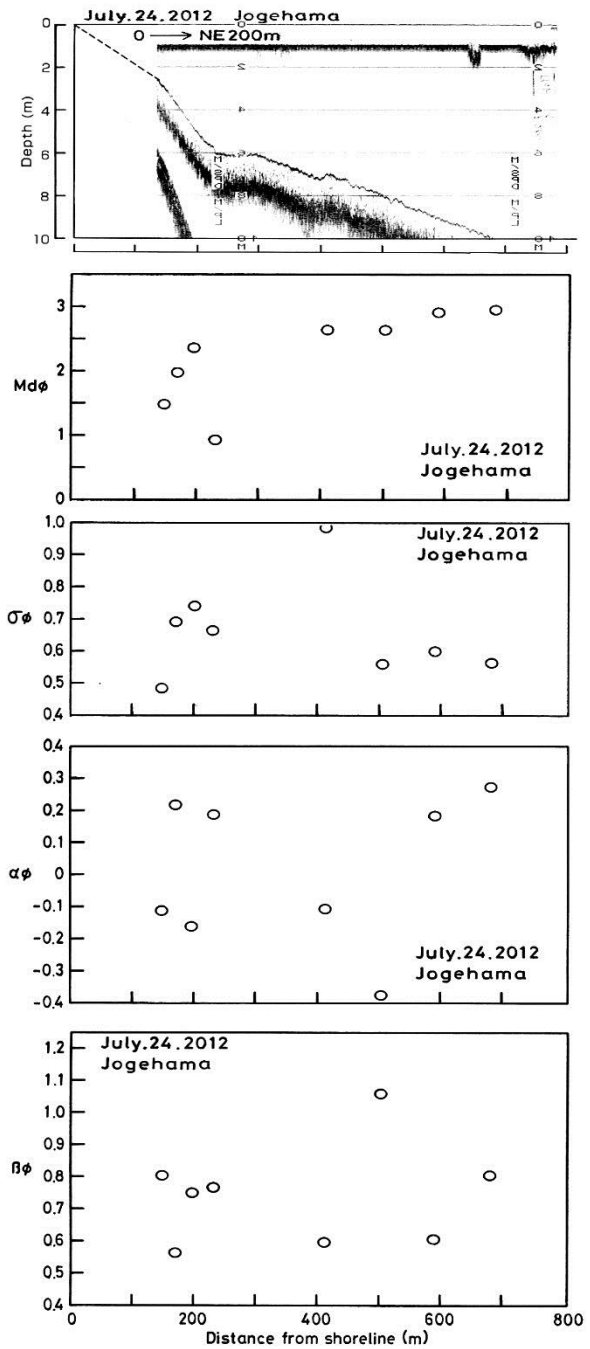


Fig.11 The profile of the sea bottom, from shoreline to offshore, and each distributions of those grain size characteristics of the sediment on the sea bottom. At the central measuring line on the crescent-shaped bar.

ある. 汀線~汀線より沖へ約 200m 付近まで, “緩やかな” から “急な” と, この間の中間付近で角度を切り替へながら落ちて行き, 水深 6.0m に達する. 汀線より沖へ約 200m 付近~沖へ約 350m 付近までの約 150m 間を, 岸から沖へ向かって, “Sの字”を横にしたような状態で, 水深 6.0m を軸にして約 20~30cm 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.

この約 150m の間に弧状沿岸砂州中心部の Trough と Bar が存在したに違いない。Trough と思われる箇所には多量の砂が堆積し、比高も 20~30cm くらいである。10 年程前に測量した地形（内山，2004）のこの箇所より約 200~250m 程、汀線に近付いた事になる。汀線より沖へ約 350m 付近~沖へ約 750m 付近まで、緩やかな傾斜で水深を増して行って水深 10.0m の Offshore に達する。10 年程前に測量した地形（内山，2004）よりも、微少なり、平均角度が急になったようだ。また、この地点が約 0~300m くらい汀線に近付いた事がわかる。

(3) 2012 年 7 月 24 日

Step 型断面形 (Fig. 10) は、定点 0 より南西側へ約 400m の地点を (Fig. 2) -②のように、水深 10.0m の地点から水深 3.0m の地点まで、岸に向かって測量した地形である。汀線~汀線より沖へ約 200m 付近の水深 3.0m の地点までは、緩やかな角度で落ちて行く。多分、汀線より沖へ約 200m 付近~沖へ約 350m 付近の間に弧状沿岸砂州接合部の極深部と極浅部が存在したであろう。極深部と想像する箇所には多量の砂が堆積し、比高もなにもない。10 年程前に測量した地形（内山，2004）のそれら二つの位置は測量ごとに変化に富んで、比較は困難とした。汀線より沖へ約 200m 付近~沖へ約 300m 付近までは急傾斜で沖側へ落ちて行って、水深 6.0m に達する。汀線より沖へ約 300m 付近~沖へ約 650m 付近までは、緩やかな傾斜で水深を増して行き、水深 10.0m の Offshore に達する。これにより、10 年程前に測量した地形（内山，2004）のこの箇所よりも約 100~250m くらい汀線に近付いたようだ。また、汀線~水深 10.0m の Offshore までの平均角度が微少、急になったようである。

Bar 型断面形 (Fig. 11) は、定点 0 より北東側へ約 200m の地点を (Fig. 2) -③のように、水深 10.0m の地点から水深 3.0m の地点まで、岸に向かって測量した地形である。汀線~汀線より沖へ約 230m 付近まで、“緩やかな”から“急な”と、この間の中間付近で角度を切り替えながら落ちて行き、水深 6.0m に達している。汀線より沖へ約 230m 付近~沖へ約 300m 付近までは“棚状”になって、水深が約 6.1m か、あるいは約 6.2m くらいのような。この約 70m の間に弧状沿岸砂州中心部の Trough と Bar が存在したであろう。Trough と思われる箇所に多量の砂が堆積し、Trough と Bar の区別もなく、比高も全然ない。10 年程前に測量した地形（内山，2004）のこれらの位置より約 250~300m 程、汀線に近付いた事になる。汀線より沖へ約 300m 付近~沖へ約 700m 付近まで、“なだらかな”傾斜で水深を増して行き、水深 10.0m の Offshore に達する。汀線より沖へ約 400m 付近で約 20cm くらいが盛り上がり、変則的な

砂の堆積があったらう。10 年程前に測量した地形（内山，2004）の水深 10.0m・Offshore の位置より約 50~300m 程、汀線に近付いた事になる。また、その時の地形より、微少なりとも平均角度が急になったようだ。

2.3 2.1 および 2.2 で確証を得た傾向

(1) 2.1 の汀線に沿って測量の海底地形

一応に山と谷の比高が小さく、波長も長い傾向を示す。それらに追隨して、山と谷もそれぞれ幅が広く、山の頂点、および谷の極低点も不明瞭である。2012 年 7 月 24 日に測量の地形で、定点 0 より南西側に形成の山の頂点は水深 3.0m と、多量の砂が堆積した事がわかる。また、定点 0 より北東側で、2010 年 11 月 7 日に測量の地形の谷が 2012 年 7 月 24 日に測量の地形では、砂が多量に移動し、堆積する事により大きな山の形成となった。これら、前述の事象から、海岸全体が堆積という方向に進んでいるのではないだろうか。砂州周辺の堆積という動作に追隨して、海浜にも大カスプを介して砂・礫が移動するようになり、海岸はバランスがとれ、安定して来るのではないか。

(2) 2.2 の岸沖方向に測量の海底地形

弧状沿岸砂州接合部、中心部における極深部および Trough が多量の砂で埋まっっていて、それぞれ特徴的な断面形 (Step 型、Bar 型) になっていない。ともすると、砂州自体が“弧状”になっていないのかもしれない。また、極深部と極浅部、あるいは Trough と Bar のそれぞれの比高は無に等しい。全体の地形が約 100~200m 程、汀線に近付いているようだ。つまり、沿岸流、離岸流とこれら二つのベクトルの合成による水の流れに従って、多量に堆積している砂が分級作用を受けながら沿岸に沿って動き、また、Bar の岸側の縁に沿って回り込むように進む事により、岸に向かう。このようにして運ばれた砂が岸に到着し、堆積した事により汀線が前進する。この箇所が海浜において大カスプの突出部に当たり、海底においては、弧状沿岸砂州接合部となるのである。よって、(1)、(2)で詳述した事象より、(1)の後半に論述した傾向が言える。

3. 海底底質の粒度組成（弧状沿岸砂州接合部と中心部において）

3.1 海底底質採取とそれらの粒度分析

観測用栈橋が撤去された今、海底底質の採取にはどうしても船に頼るしかない。しかし、これを成就するには大変な困難が待ち受けていた。まず、船を使用するための費用の問題である。幸い、防災研究所の方からのご協力を得る事ができました。次に、これを実行

する時期とそれの方法が問題です。時期については、一番の希望は2月頃なのだが、しかしその頃は冬季の真っ最中で、激しい季節風、大きな波浪が毎日のように続き、船が出せなく、海底底質採取ができない。そこで今回は、穏やかな日が続く冬季以外で、夏季に海底底質採取した試料を用いて解析する。冬季の変化の真っ最中の海底底質よりも、変化後の安定し、固定した海底底質の方がいろいろな面からも都合が良いからである。最初に採取を行なったのは、2010年11月7日で、夏季の終えんの頃である。2011年7月27日と2012年7月24日は夏季の真っ最中の頃です。

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、弧状沿岸砂州接合部と中心部の2測線での採取として、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、最高度の技法がなければできない技である。

また、以下において、ウエ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) 2010年11月7日

弧状沿岸砂州接合部において (Fig.6), $Md\phi$ は、汀線～汀線より沖へ約300mの地点間で1.0～2.0φの値を示し、中砂により組成する。汀線より沖へ約300mの地点～沖へ約750mの地点間は、2.5～3.1φの値を示し、大部分の細砂と一部分の微砂で組成となる。この測線の断面形自体が、汀線から沖へ向かって単調に水深を増して行っている。このことから、“弓”の弧を上にしたような形状で、水深3.0mのNearshoreから水深10.0mのOffshoreまで値が1.0φから3.0φ前後へと右肩上がりで細粒化している。沖からの水の流れを主体とし、また、沿岸流の作用を受けて細粒な砂が相当な厚さ(1.0m前後)で堆積したように見受けられる。

$\sigma\phi$ は、水深3.0mのNearshoreの値が小さく、淘汰が良い。汀線より沖へ約200mの地点～沖へ約450mの地点間は沖側へ急に値が大きくなって、この測線の最大値を示す事から大変淘汰が悪い。汀線より沖へ約500mの地点～沖へ約750mの地点間は、最大値を示す地点から沖側へ向かって急に値が小さくなっている。全体的な傾向として、この測線の中央地点を頂点とする山型の傾向となる。この原理はと言うと、一番汀線に近い水深3.0mの地点では、主要成分の粒径かあるい

は同値くらいの砂を混合する事により、淘汰を良くしている。この地点より沖側へ、一番淘汰が悪い地点までは、徐々に主要成分よりやや粗粒ぎみな砂を少量ずつ増加し、混合する事により、累積曲線の16%と84%のそれぞれ二つに対応するφ値間($\sigma\phi$ の2倍)を徐々に広げて行く。この事象に追従して、この二つの%の間で、曲線の傾斜が徐々に緩やかになって行く事により、このような傾向になる。一方、この測線の中央地点より沖側については、前述と全く逆で、徐々に主要成分より粗粒ぎみな粒径の砂から主要成分と同値で細粒ぎみな粒径の砂に近付く事により、累積曲線の16%と84%のそれぞれ二つに対応するφ値間($\sigma\phi$ の2倍)を徐々に狭めて行く。また、前述の事象に追従して、この二つの%間の曲線の傾斜が徐々に急になって行く事から、このような傾向となる。

$\alpha\phi$ は、水深3.0mのNearshoreで負にシフトし、その値は0に近い。汀線より沖へ約200mの地点～沖へ約300mの地点間の2丸は正にシフトし、値が大きい。汀線より沖へ約300mの地点～沖へ約450mの地点間の2丸は極めて大きい値で負にシフトしている。汀線より沖へ約500mの地点～沖へ約750mの地点間で、3丸のうち1丸が0に近い負に、2丸が正にそれぞれシフトして、負から正へと値が徐々に大きくなっている。Nearshoreの水深3.0mの1丸を例外としたとき、全体の傾向が“V字型”のようで、前述の $\sigma\phi$ の傾向と形式的に逆相関のようだ。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”よりも長い事が $Md\phi$ の値に大きく反映する。前述の事象から、 $Md\phi$ が $Md\phi$ より小さいか、あるいは大きいかに、負あるいは正にシフトするかが決まり、また、その度合も決まる。

$\beta\phi$ は、水深3.0mのNearshoreから沖側へ向かって値が大きくなって行く、緩やかな右肩上がりの傾向だ。要は、 $Md\phi$ の傾向と形式的に類似している。理論上は $\sigma\phi$ と逆相関をするはずである。この理由として、水深が単調に岸から沖へ向かって深くなっている事なのだ。次に、この測線全体の海底底質が砂の堆積であって、礫成分と粗粒成分の堆積が無に等しい。累積曲線で、5%と16%のそれぞれ二つに対応するφ値間、と、84%と95%のそれぞれ二つに対応するφ値間、の二つのφ値間の和の長さ、そして16%と84%のそれぞれ二つに対応するφ値間($\sigma\phi$ の2倍)、と相互の微妙な長さの違いによって値が決まるようだ。要は、双方の長さが反比例の関係にある事から、常道の理論である $\sigma\phi$ と逆相関に繋がる。

弧状沿岸砂州中心部において (Fig. 7), $Md\phi$ は、汀線より沖へ約 100m の地点～沖へ約 300m の地点間の 3 丸が 0.75～1.25 ϕ の値を示し、中砂に近い粗砂と粗砂に近い中砂で組成する。汀線より沖へ約 400m の地点～沖へ約 550m の地点間の 2 丸が 2.25 ϕ 前後の値を示して、中砂にやや近い細砂で組成している。汀線より沖へ約 600m の地点～沖へ約 800m の地点間の 3 丸が 2.75～3.0 ϕ の値を示し、微砂に近い細砂の組成となる。汀線より沖へ約 150m の地点付近の 2 丸で、沿岸流によって運ばれて来た粗粒成分の付加による混合によって、主要成分が若干粗粒化し、 $Md\phi$ の値を下げた。汀線より沖へ約 250m の地点付近の 1 丸において、以前、Trough の形跡が残る付近に多量の砂が堆積し、やや細粒化したようだ。汀線より沖へ約 400m の地点付近から沖側は、Bar 沖側斜面と Offshore に当たり、徐々に沖側へ向かって細粒化している。全体的な傾向として、岸側から沖側へ向かって右肩上がりでも細粒化している事がわかる。

$\sigma\phi$ は、汀線より沖へ約 100m の地点～沖へ約 150m の地点間の 2 丸の値が大きく、淘汰が悪い。これは前述の事象のごとく、この箇所が Nearshore である事もあって、主要成分よりやや粗粒な成分が付加し混合する事によって淘汰を悪くした。汀線より沖へ約 250m の地点付近の 1 丸は、地形から見て Trough の“なごり”の様子でもある事から、北東から南西へ向かう沿岸流によって砂が運ばれ、次に離岸流も手伝って盛大に分級作用を施し、徐々に主要成分と類似な成分に粗粒から細粒に近付いて行くので淘汰を良くした。汀線より沖へ約 400m の地点から沖側において、前述の $Md\phi$ が沖側へ向かって細粒化するのと類似するように沖側へ向かって淘汰を良くしている。全体的な傾向として、岸側から沖側へ向かって右肩下がりでも、徐々に淘汰を良くしている事がわかる。要は、前述の $Md\phi$ の傾向と形式的に逆相関しているようだ。このような事象はどうして起こるかと言うと、この測線全地点で主要成分の $Md\phi$ が“砂の範囲内”で組成されているからである。主要成分を組成する頻度の度合が岸側の地点から沖側の地点へ、離岸流の作用も加味して徐々に粗粒な砂から細粒な砂へとそれぞれ主要成分の組成に近付くにつれ累積曲線上で、16%と 84%間の曲線の傾斜が徐々に急になる事に追従して、二つの%にそれぞれ対応する ϕ 値間 ($\sigma\phi$ の 2 倍) も減じ、沖側へ向かうと共に淘汰が良くなる事に繋がる。

$\alpha\phi$ は、汀線より沖へ約 100m の地点～沖へ約 200m の地点間の 2 丸が小さい値で負にシフトしている。汀線より沖へ約 250m の地点～沖へ約 450m の地点間の 2 丸は負にシフトし、極めて 0 に近い。汀線より沖へ約 500m の地点～沖へ約 650m の地点間の 2 丸は正にシフ

トし、極めて 0 に近い。汀線より沖へ約 700m の地点～沖へ約 800m の地点間の 2 丸は大きい値で正にシフトする。全体的な傾向は、岸側から沖側へ向かって負から正へと右肩上がりでも推移する。一見して、この測線の $Md\phi$ の傾向と類似のようだ。汀線より沖へ約 100m の地点～沖へ約 450m の地点間で負にシフトする訳は、この測線が弧状沿岸砂州中心部である事から、沿岸流によって運ばれて来た砂が、今度は離岸流によって沖側へ移動する事になる。その際、 $\sigma\phi$ で詳述のように、沖側の地点へ移動するにつれて淘汰が良くなっている。この事象から、運ばれて来て堆積している砂のうち、それぞれの主要成分より粗粒な微量成分が累積曲線の 16%に対応する ϕ 値より粗粒側に、細粒成分が微量の 84%に対応する ϕ 値より細粒側、よりも長い“tail”を持つ事を表わした事になる。離岸流により、岸から沖へ向かうに従って順次分級作用が行なわれ、主要成分より細粒な成分が付加して行く事で累積曲線の 84%に対応する ϕ 値より細粒側の“tail”が長さを増し、 $Md\phi$ より粗粒側に位置する $M\phi$ が、沖側へ地点の移動につれて、徐々に粗粒側から $Md\phi$ に近付くのである。汀線より沖へ約 500m の地点～沖へ約 800m の地点間の 4 丸は正にシフトし、また、Bar 沖側斜面と Offshore という箇所でもあり、沖側へ向かって値を大きくしている。 $\sigma\phi$ では、この地点間で沖側へ向かって激しく分級作用が行なわれた事がわかる。この事から、主要成分より細粒な成分が微量付加する事で、累積曲線の 84%に対応する ϕ 値より細粒側の“tail”が 16%に対応する ϕ 値より粗粒側のそれより、地点が沖側へ移動につれて順次、長さを増す事になる。この事象から、沖側へ地点の移動につれて $M\phi$ が $Md\phi$ を粗粒側から飛び越えて細粒側に移動し、徐々に $Md\phi$ から離れて行く事で、図中の傾向に繋がる。

$\beta\phi$ は、汀線より沖へ約 100m の地点～沖へ約 450m の地点間の 4 丸が岸側から沖側へ向かって右肩上がりでも値を大きくしている。汀線より沖へ約 450m の地点付近の丸が一番値を大きくして、頂点となる。この丸を頂点として沖側へ右肩下がりでも値を減じて行く。不明瞭ではあるが、Bar の頂部付近が尖度の最大値を示し、山型の傾向となるようだ。前述の傾向を示す理由は、先述の $Md\phi$ 、 $\sigma\phi$ 、 $\alpha\phi$ の傾向と大いなる相関があるからである。累積曲線上において、5%と 16%のそれぞれ二つに対応する ϕ 値間が岸から沖へ向かって徐々に増す傾向にある。それは、 $Md\phi$ と $\sigma\phi$ の二つの傾向として、沖へ向かって細粒化している事と値の大きい負から正へとそれぞれ右肩上がりの傾向となっているからである。 $\sigma\phi$ も岸から沖へ向かって淘汰が良くなっているが、この範囲においてはほとんどその要因として加味していない。次に、16%と 84%のそれぞれ

二つに対応する ϕ 値間 ($\sigma\phi$ の2倍)は、例外があるにせよ徐々に沖へ向かって短くなって行く。この区間は主要成分の堆積場でもある。Md ϕ 、 $\sigma\phi$ 、 $\alpha\phi$ の傾向から、沖側の地点へ移るにつれて累積曲線の傾斜がゆっくりと急になり、堆積の量も増加する。また、この事象に伴ない、この区間の長さ ($\sigma\phi$ の2倍)が岸から沖の地点へ行くにつれて徐々に短くなって行く。これに同調するかのようになり、84%と95%のそれぞれ二つに対応する ϕ 値間もそうになっている。一方、 $\beta\phi$ の傾向に直接拘わってくる5%と16%のそれぞれ二つに対応する ϕ 値間、および84%と95%のそれぞれ二つに対応する ϕ 値間、両方の長さの和においても例外を除いて、沖側へ向かうにつれて微妙に長さを減じている。上述の論理をまとめると、汀線～沖へ約450mの地点付近の丸まで、累積曲線上の主要成分が堆積している区間の長さ ($\sigma\phi$ の2倍)の減少率が両端区間のそれぞれの長さの和の減少率より大きい事により、沖へ向かって $\beta\phi$ の値が大きくなって行く事がわかる。一方、頂点より沖側では前者の減少率が後者のそれより沖へ向かって小さくなって行く事で、 $\beta\phi$ の値が沖へ向かって小さくなって行く事がおおよそで言える。

(2) 2011年7月27日

弧状沿岸砂州接合部において (Fig. 8), Md ϕ は、汀線より沖へ約150mの地点付近～沖へ約230mの地点付近間の2丸が1.75～2.0 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250mの地点付近～沖へ約450mの地点間の3丸が2.75 ϕ 前後の値であって、微砂にやや近い細砂で組成する。汀線より沖へ約500mの地点付近の1丸 (水深8.0m)のみが0.5～0.75 ϕ の値を示し、粗砂の組成となる。汀線より沖へ約600mの地点付近～沖へ約700mの地点間の2丸が2.75～3.25 ϕ の値を示し、微砂に極めて近い細砂と細砂に極めて近い微砂の組成である。この測線全体の地点が細砂の圏内の組成で、岸から沖へ向かい、緩やかな弧を描くように右肩上がりで細粒化している。汀線より沖へ約500mの地点付近の1丸 (水深8.0m)のみが0.6 ϕ 前後の値で、粗砂の組成となる。この訳はと言うと、後述になると思うが、 $\sigma\phi$ 、 $\alpha\phi$ 、 $\beta\phi$ のこの地点のこれらの値から詳述する。この地点では、粗砂を中心とする粗粒成分が多量堆積し混合する事により、細粒成分の混合頻度が下がる。この事象から、 $\sigma\phi$ で淘汰が悪くなる。 $\alpha\phi$ で、細粒成分が微量化する事で、水深7.0mの地点から水深8.0mの地点へと沖側へ移動すると、累積曲線上でMd ϕ が粗粒側へ移動し、M ϕ が粗粒側からMd ϕ を飛び越えて細粒側へ移った事になる。上の事象からも尖度が小さくなる事に繋がる。

$\sigma\phi$ は、汀線より沖へ約150mの地点付近～沖へ約450mの地点間の5丸が岸から沖へ向かって徐々に値を

小さくし、右肩下がりの傾向を示す。この5丸については、Md ϕ と整合性がつく。汀線より沖へ約500mの地点付近の1丸 (水深8.0m)のみ、極めて淘汰が悪い。これは前述に加味して、粗砂を中心とした粗粒成分が多量堆積し混合する事で、累積曲線上の16%と84%間の傾斜角度が小さくなる事に追従して、それぞれこの二つの%に対応する ϕ 値間 ($\sigma\phi$ の2倍)が長くなる事で値を大きくした。汀線より沖へ約600mの地点付近～沖へ約700mの地点間の2丸は、主要成分を細砂と微砂の相互の組成とあって大変淘汰が良い。しかし、汀線より沖へ約700mの地点付近の1丸 (水深10.0mのOffshore)のみ、若干淘汰が悪い。これは、この地点がOffshoreで細砂や微砂を中心とした砂が多量堆積していて、表面が“しまった”状態である。水深8.0mに堆積した粗粒成分の中の小礫、極粗砂等が浮力の作用を受けて“ころころ”と少量転がって来て堆積したのではないだろうか。汀線より沖へ約500mの地点付近の1丸 (水深8.0m)を例外として全体的な傾向は、岸から沖へ向かってちょうど“ひしゃくのような型”をして湾曲しながら淘汰を良くして行っている。

$\alpha\phi$ は、汀線より沖へ約150mの地点付近～沖へ約230mの地点付近間の2丸が0に近い小さな値で負に、および正にとそれぞれシフトする。汀線より沖へ約250mの地点付近～沖へ約450mの地点間の3丸が大きな値で負にシフトしている。汀線より沖へ約500mの地点～沖へ約700mの地点間の3丸がそれぞれ正にシフトし、沖側へ向かって値が小さくなっている。汀線より沖へ約150mの地点付近～沖へ約230mの地点付近間の2丸については、主要成分を細砂に極めて近い中砂での組成である。その上、淘汰もかなり悪い事、また、Nearshoreの位置でもある事から、主要成分よりも粗粒な、あるいは細粒な微量な分だけ混合し、堆積している。この微量な粗粒成分および細粒成分が累積曲線において16%と84%のそれぞれ二つに対応する ϕ 値よりも粗粒側、あるいは細粒側に、とその反対側の“tail”より微少なりとも長い事を反映して、M ϕ がMd ϕ より近似でそれらの方へ位置する事から図中のような具合になった。汀線より沖へ約250mの地点付近～沖へ約450mの地点間の3丸については、Md ϕ が極めて微砂に近い細砂の組成である事と、岸側から沖側へ向かって急激に淘汰を良くしている。この事から、累積曲線において、16%と84%の間の傾斜角度が細粒側ほど大きくなると共に、二つの%にそれぞれ対応する ϕ 値間 ($\sigma\phi$ の2倍)も沖側の地点に移るにつれて短くなって行く。この事象に追従して ϕ 値間自体も徐々に細粒側へ移動する事で、粗粒側の“tail”が細粒側のそれより長くなって行く事を反映して、M ϕ がMd ϕ より大きく粗粒側へ行き、大きく負にシフトするのに繋

がる。汀線より沖へ約 500m の地点付近の 1 丸（水深 8.0m）は、この測線で唯一、主要成分を粗砂で組成し、極めて淘汰が悪い。このことから、累積曲線の 84% に対応する ϕ 値の位置が固定し、一方、16% に対応する ϕ 値の位置が粗粒側に移動する事により、両 ϕ 値間が広がると共に粗粒側の“tail”が短くなる事で、 $M\phi$ が粗粒側から $Md\phi$ を飛び越えて大きく細粒側へ移動する。前述の事象から、正側に大きくシフトするのに繋がった。汀線より沖へ約 550m の地点～沖へ約 700m の地点間の 2 丸は、岸側の地点から沖側の地点へ行くにつれて主要成分を微砂から極めて微砂に近い細砂で組成するようになる。これに追随して、淘汰度も微妙に大きくなる。この事象から、累積曲線の 84% に対応する ϕ 値の位置が固定する。一方、16% に対応する ϕ 値の位置が若干粗粒側に移動する事で、両 ϕ 値間が微妙に広がると共に粗粒側の“tail”も微妙に短くなる事で、岸側から沖側の地点へ移動につれ、 $\alpha\phi$ の値が正でやや下がる事に繋がる。

$\beta\phi$ は、汀線より沖へ約 150m の地点付近～沖へ約 230m の地点付近間の 2 丸で、非常に尖度が小さい。汀線より沖へ約 250m の地点付近～沖へ約 450m の地点間の 3 丸で非常に尖度が大きい。汀線より沖へ約 500m の地点付近～沖へ約 700m の地点間で 3 丸が、前 2 区間のおおよそ中間の尖度を示す。汀線より沖へ約 150m の地点付近～沖へ約 230m の地点付近間の 2 丸の尖度が小さいのは、これらの位置が Nearshore と言う事もあり、主要成分が細砂に極めて近い中砂の組成である。また、 $\sigma\phi$ の値も大きく淘汰が悪い。上述の事象を反映して、累積曲線の 16% と 84% 間の傾斜が緩い事から、両%にそれぞれ対応する ϕ 値間 ($\sigma\phi$ の 2 倍) も長い。また、5% と 16% の両%にそれぞれ対応する ϕ 値間、と、84% と 95% の両%にそれぞれ対応する ϕ 値間、の両 ϕ 値間の和が短い。このような二つの条件を反映して $\beta\phi$ の値が小さくなるのである。汀線より沖へ約 250m の地点付近～沖へ約 450m の地点間の 3 丸のうち 1 丸がこの測線における最大値となる。汀線より沖へ約 500m の地点付近～沖へ約 700m の地点間の 3 丸が沖側へ向かって徐々に尖度を落として行く。累積曲線において、16% と 84% 間の傾斜角度によって、これらの両%にそれぞれ対応する ϕ 値間 ($\sigma\phi$ の 2 倍)、および 5% と 16% のそれぞれ二つの%に対応する ϕ 値間、と、84% と 95% のそれぞれ二つの%に対応する ϕ 値間、両方の ϕ 値間の和、がそれぞれ微妙な増減を繰り返す事によって上述の傾向として現われる。全体の傾向を $\sigma\phi$ の傾向と見比べたとき、理論上の逆相関しているような気がする。

弧状沿岸砂州中心部において (Fig. 9), $Md\phi$ は、汀線より沖へ約 100m の地点～沖へ約 200m の地点間の 3

丸が 1.5～2.0 ϕ の値を示し、細砂にやや、および極めて近い中砂で組成している。汀線より沖へ約 350m の地点～沖へ約 500m の地点間の 2 丸が 1.0～1.5 ϕ の値を示し、粗砂にやや近い中砂で組成する。汀線より沖へ約 500m の地点～沖へ約 750m の地点間の 3 丸が 2.75～3.25 ϕ の値を示し、微砂に極めて近い細砂と細砂に極めて近い微砂でそれぞれ組成となる。全体の傾向として、前区間の Nearshore、および後区間の Offshore、ともに岸側から沖側へ向かって右肩上がりで細粒化している。汀線より沖へ約 350m の地点～沖へ約 500m の地点間の 2 丸が、Bar 沖側斜面と言う場所でもあり、1.25 ϕ 前後の値で粗粒化した事になる。上述の組成となった要因としては、2010 年 11 月 7 日に測量の弧状沿岸砂州接合部、中心部の位置が今回、それぞれ約 200m 程北東へ移動した事がわかる。この事象から、沿岸流も南西から北東へとその反対方向のそれより優勢に激流となって流れたであろう。その流れに追随して、中心部である事により、離岸流も激流と化したのである。二つの水の流れによるベクトルの合成が起こり、弧のような Bar の外側縁を回り込むように進む。南西からの沿岸流によって運ばれて来た細粒成分を多く含む砂が弧状沿岸砂州中心部の Trough に堆積し、埋めつくしてしまった。これにより順次、岸の方へ移動すると共に、北東側へ移動となった。多量、堆積した砂の中の粗砂に極めて近い中砂を主要成分とする砂が離岸流による強烈な分級作用を受けて沖側へ追いやられ、浮力を加味して“ころころ”と細粒でしまった砂の上を転がって、砂州沖側斜面に堆積し、混合しただろう。

$\sigma\phi$ は、汀線より沖へ約 100m の地点～沖へ約 150m の地点間の 1 丸で値が小さく、極めて淘汰が良い。Nearshore の 3 丸のうち残りの 2 丸の値が大きく淘汰を悪くしている。砂州沖側斜面の 2 丸の値が大きく、淘汰が悪い。Offshore の 3 丸の値が小さく、淘汰を良くしている。全体的な傾向として、岸に一番近い 1 丸を除いて、岸側から沖側へ向かって弧を描くように緩やかな右肩上がりで淘汰が良くなっている。上述のような事象となるのは、主要成分が混合する頻度によって累積曲線の 16% と 84% 間の傾斜角度が大きいか、小さいかにより、それら二つの%にそれぞれ対応する ϕ 値間 ($\sigma\phi$ の 2 倍) の短い、長いが淘汰度を決する。

$\alpha\phi$ は、Nearshore の 3 丸のうち、岸に一番近い 1 丸が負に、2 丸が正にそれぞれシフトする。Bar 沖側斜面の 2 丸のうち、岸側の丸が 0 に、沖側の丸が正にシフトしている。Offshore の 3 丸のうち、一番岸側の 1 丸が負に、沖側の 2 丸が正にそれぞれシフトする事になる。上述の事象を示すのは、累積曲線において、16% と 84% の二つの%にそれぞれ対応する ϕ 値よりも粗粒側に、あるいは細粒側に、と相互の反対側よりも微

少なりとも長い“tail”で $M\phi$ がそちらの方へ寄る。要は、主要成分より粗粒な、あるいは細粒な微量成分が両端の“tail”のうち、微少なりともその反対側のそれより長い事で、 $M\phi$ が $Md\phi$ よりそちらの方へ位置するようになり、 $\alpha\phi$ が決まる。汀線より沖へ約300mの地点～沖へ約500mの地点間(砂州沖側斜面)の2丸については、主要成分が粗粒化した事で、累積曲線における16%と84%の二つの%にそれぞれ対応する ϕ 値間($\sigma\phi$ の2倍)が粗粒側へ広がるため、粗粒側の“tail”が短くなる。それに追従して、岸側の丸から沖側の丸に移ると同時に $Md\phi$ が粗粒側へ、 $M\phi$ が $Md\phi$ の位置から細粒側へと微少なり移動する事により、図中のようになった。

$\beta\phi$ は、汀線より沖へ約100mの地点～沖へ約200mの地点間のNearshoreの3丸で、一番岸に近い1丸は尖度が非常に大きく、他2丸は沖側へ移るにつれ小さくなっている。この3丸は、 $\sigma\phi$ のこれらの値と完全に理論どおり逆相関している事がわかる。つまり、累積曲線で、16%と84%間の傾斜角度が岸側から沖側の地点へ移るにつれて緩くなって行く。前述の事象に追従して、それら二つの%にそれぞれ対応する ϕ 値間($\sigma\phi$ の2倍)が徐々に広がる。一方、5%と16%、84%と95%、それら、各各の%に対応する ϕ 値間の二つの和が、岸側から沖側の地点に移るにつれて徐々に短くなって行く。これら上述のごとく、二つの長さの兼ね合いで $\beta\phi$ の値が決まって来るのである。Bar 沖側斜面の2丸およびOffshoreの3丸も先述のNearshoreの3丸と類似な傾向を示すようだ。

(3) 2012年7月24日

弧状沿岸砂州接合部において(Fig.10)、 $Md\phi$ は、汀線より沖へ約200mの地点付近～沖へ約250mの地点間の2丸が1.5～1.75 ϕ の値を示し、細砂にやや近い中砂で組成する。汀線より沖へ約250mの地点付近の1丸が1.0 ϕ 近似の値で、粗砂・中砂の組成となる。汀線より沖へ約300mの地点～沖へ約650mの地点付近間の5丸が2.0～3.0 ϕ に収まり、完全な細砂の組成である。全体の傾向は、汀線より沖へ約250mの地点付近の1丸を除いて、岸側から沖側へ向かって右肩上がりで細粒化している。汀線より沖へ約250mの地点付近の1丸が粗粒化した要因は、この測線が2011年7月27日に測量のこの測線に比べて、南西側へ約200m程、移動した事である。この事から、北東側から南西側へ向かって強い沿岸流が作用したと思われる。水の流れの上手側に多量な粗粒成分が堆積し、これが沿岸流によって分級作用を受けながら運ばれて来て極深部の“なごり”と思われるような窪みに堆積となる。(Fig.5)の地形図の全体からわかるように、(Fig.4)の地形図と比べて約1.0～1.5m程の砂の堆積が見られる。それと

共に、この測線の北東側隣りの弧状沿岸砂州中心部では、沿岸流と離岸流とのベクトルの合成が起こり、砂州の南西側の内縁を回り込むようにして、砂を運びながら岸の方向へ進む。極深部は砂に埋めつくされると同時に岸の方に近付いて行く事から、この地点でこのような粒度組成になった。

$\sigma\phi$ は、汀線より沖へ約200mの地点付近～沖へ約300mの地点間で3丸の値が大きく、淘汰が悪い。汀線より沖へ約300mの地点～沖へ約650m地点付近間の5丸が左右対称に近い山型をした傾向を示す。上述の要因としては、岸側から沖側へ向かってこの測線の最大値を示す頂点までの3丸が、岸側から沖側の地点へ移るにつれて主要成分の領域内で、徐々に粗粒成分の増加が見られる。前述の事象に追従して、累積曲線の16%と84%間の傾斜角度が緩くなりつつ、二つの%にそれぞれ対応する ϕ 値間($\sigma\phi$ の2倍)が沖側へ移る度に広がる事となる。Offshoreの2丸について、岸側から沖側の丸への動作は前述の3丸と全く逆となる。

$\alpha\phi$ は、汀線より沖へ約200mの地点付近～沖へ約250mの地点間の2丸の値が、岸側で0、沖側で小さく負にシフトする。汀線より沖へ約250mの地点付近～沖へ約350mの地点間の2丸の値が小さく正にシフトしている。汀線より沖へ約400mの地点～沖へ約650mの地点付近間の4丸において、負で大きな値から正の大きな値へと岸側から沖側へ向かって急な右肩上がりで変化する。前述のような事象となるのは、 $Md\phi$ および $\sigma\phi$ の値の兼ね合いからで、まず、岸側二つの丸について、岸側から沖側の丸に移るにつれて $Md\phi$ が細粒化しているので、累積曲線のこの位置がやや細粒側へ移動する。累積曲線の16%に対応する ϕ 値の位置が主要成分より粗粒な成分の微量なあまり固定されたに等しい。また、この ϕ 値の位置より粗粒側に形成の“tail”も固定したに等しい。しかし、反対側の“tail”よりも長い事で、 $M\phi$ が $Md\phi$ より粗粒側に寄っている。一方、84%に対応する ϕ 値の位置が $Md\phi$ の細粒化と $\sigma\phi$ の淘汰の悪化で、16%に対応の ϕ 値との間が広がる。これに伴って、84%に対応の ϕ 値より細粒側に形成の“tail”も短くなる。これに追従して、 $M\phi$ が粗粒側の方から $Md\phi$ に近付いて行く事になる。次に沖側二つの丸については、主要成分の範囲で細粒側の累積曲線の傾斜角度が増し、16%と84%のそれぞれに対応する ϕ 値間($\sigma\phi$ の2倍)が狭くなる。これに伴って細粒側の“tail”が粗粒側のそれより長さの面で追い越し、差がついた。この事象により、 $M\phi$ が粗粒側から $Md\phi$ を交わり、細粒側へ大きく移動した。

$\beta\phi$ は、汀線より沖へ約200mの地点付近～沖へ約300mの地点間の3丸の値で、岸側の2丸が小さく、沖側の1丸がやや大きい。汀線より沖へ約300mの地点～

沖へ約 450m の地点間の 2 丸の値が、岸側から沖側へ向かって急に大きくなっている。汀線より沖へ約 450m の地点～沖へ約 650m の地点付近間の 3 丸の値が岸側から沖側へ向かって、小さいからやや大きいに、右肩上がりで湾曲している。この測線は弧状沿岸砂州接合部とあって、また、全体に砂が多量に堆積する事で、極深部と極浅部の区別もなくなり、岸側から沖側へ単調に水深を増しているのが特徴である。それ故に、Nearshore の 1 丸を除いて、岸側から沖側へ向かって順次、細粒化しているのである。この条件に付加して、沿岸流、離岸流、この二つの水の流れて起こるベクトルの合成による流れ、これらの作用を受け、分級作用も進む事で $\sigma \phi$ の値が生み出される。上述のこれらの事象を反映して、この測線の $\beta \phi$ の値を一つ、一つ $\sigma \phi$ と比較した時に、理論通りの逆相関のような気がする。つまり、累積曲線において、16%と 84%間の傾斜角度の大小に従って、それら二つにそれぞれ対応する ϕ 値間 ($\sigma \phi$ の 2 倍) と、5%と 16%および 84%と 95%、とそれぞれ、各各に対応する ϕ 値間の二つの和、それらの兼ね合いによって $\beta \phi$ の値が決まる。

弧状沿岸砂州中心部において (Fig. 11), $Md \phi$ は、汀線より沖へ約 150m の地点付近～沖へ約 250m の地点間の Nearshore で、4 丸の値が $0.75 \sim 2.5 \phi$ を示し、中砂に極めて近い粗砂と細砂に極めて近い中砂、および中砂に極めて近い細砂で組成する。汀線より沖へ約 400m の地点～沖へ約 700m の地点間の 4 丸の値が $2.5 \sim 3.0 \phi$ の値を示し、微砂にやや近い細砂の組成となる。緩やかな右肩上がりで、岸側から沖側へ向かって細粒化している。この測線は弧状沿岸砂州中心部であり、本来は Trough, Bar と、形成があるはずである。これらが砂に約 1.0～1.5m 程埋めつくされ、棚状のようだ。北東から南西へ向かう沿岸流が粗粒成分を主要成分とする砂を運んで来てこの測線に堆積させ、また、この測線を通り越して南西側隣りに位置する接合部に作用したのではないかと。離岸流とのベクトルの合成もなく、ただ、岸側から沖側へ、 $\sigma \phi$ の値の傾向から察するに、分級作用を施しながら砂を運んだように思える。そのため、接合部が、2011 年 7 月 27 日に測量の地形図 (Fig. 4) と今回の地形図 (Fig. 5) を比較して南西の方向へ約 200m 程移動したのに対し、この測線は静止した様で、Bar らしき“なごり”が岸側に近付いた。ここで、一番残念なのは Bar 沖側斜面と思われる箇所まで底質採取をしなかったのが大変悔やまれる。但し、水深 6.0m の位置は Trough の“なごり”の箇所のように思われる。

$\sigma \phi$ は、汀線より沖へ約 150m の地点付近の 1 丸の値が小さく、大変淘汰が良い。汀線より沖へ約 160m の地点～沖へ約 250m の地点間の 3 丸の値がやや大きく、淘

汰がやや悪い。汀線より沖へ約 400m の地点付近の 1 丸の値が非常に大きく、大変淘汰が悪い。汀線より沖へ約 500m の地点～沖へ約 700m の地点間の 3 丸の値がやや小さく、淘汰がやや良い。上述の事象となる訳は、 $Md \phi$ の所で論述のように、北東側から南西側への沿岸流によって運ばれて来た粗粒さみな砂が Nearshore 周辺に堆積する。次に、離岸流により、沖へ沖へと分級作用を受けながら移動し、堆積となる。堆積した主要成分の粒径にどれだけ類似性があるか、また、どれだけの量かによって、累積曲線の 16%と 84%間の傾斜角度が大小となる。それら二つの%に対応する ϕ 値間 ($\sigma \phi$ の 2 倍) が短くなったり、長くなったりする事で、 $\sigma \phi$ の値が決まる。

$\alpha \phi$ は、汀線より沖へ約 150m の地点付近～沖へ約 250m の地点間の Nearshore の 4 丸が負、正と交互にその方にシフトし、2 丸ずつ分け合っている。汀線より沖へ約 400m の地点～沖へ約 700m の地点間の 4 丸で、岸側の 2 丸が沖側へ向かって急に負で大きくなり、沖側の 2 丸が沖側に向かって緩やかに正で大きくなって、それぞれ 2 丸ずつ負、正と分け合っている。上述のような事象を示すうちの岸側の 2 丸は、 $Md \phi$ が微砂にやや近い細砂の組成で、その値も類似している。 $\sigma \phi$ は、岸側の丸の値が大きく大変淘汰が悪いのに対して、沖側の丸は一変して値が小さく、大変淘汰が良い。上述の事象から、北東から南西へ向かう沿岸流によって粗粒成分が多量に運ばれて来て、この測線の Nearshore に堆積する。今度は離岸流によって多大なる分級作用を受けて、棚状の箇所を飛び越してこの 2 地点に堆積となる。前述の事象の反映によって、累積曲線の 16%と 84%間の傾斜角度が特に粗粒側で緩やかになり、二つの%にそれぞれ対応する ϕ 値間 ($\sigma \phi$ の 2 倍) も広がる。これに追随して、16%に対応する ϕ 値より粗粒側の“tail”が 84%に対応する ϕ 値より細粒側のそれよりも長くなる事で、 $M \phi$ が $Md \phi$ を飛び越えて粗粒側に位置する。沖側のもう 1 地点 (1 丸) へ移るに従って、それらの作用が顕著に進み ($M \phi$ が $Md \phi$ より粗粒側へ離れて行く)、負で小さいから大きい値へと変換するのである。次に、Offshore の水深 9.0m, 10.0m の 2 丸において、両丸共 $Md \phi$ が 3.0ϕ に極めて近い細砂の組成で、また、 $\sigma \phi$ の値も小さく大変淘汰が良い。上述の事象で、累積曲線の 16%と 84%間の傾斜角度が急になり、二つの%に対応する ϕ 値間 ($\sigma \phi$ の 2 倍) も狭まる。これに追随して、細粒側の“tail”が粗粒側のそれより徐々に長くなる事で、 $Md \phi$ 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、 $\alpha \phi$ を正でやや大きい値へと導いた。但し、実際の“tail”の長さとは、 $Md \phi$ と粗粒側の 16%に対応する ϕ 値、および細粒側の 84%に対応する ϕ 値、との間隔の事で

ある。

$\beta\phi$ は、汀線より沖へ約 150m の地点付近～沖へ約 250m の地点間の Nearshore の 4 丸で、3 丸の値がやや大きく、1 丸のみが小さい。汀線より沖へ約 400m の地点～沖へ約 700m の地点間の 4 丸のうち、岸側 2 丸が明瞭に $\sigma\phi$ の値と逆相関し、沖側 2 丸も不明瞭だがそうになって、それぞれ理論どおりとなる。これを詳細に論述すると、岸側の 2 丸と沖側の 2 丸において、主要成分の増加に伴ない、累積曲線の 16% と 84% 間の傾斜角度（増加率）が岸側から沖側の丸に移るにつれて、大きく、やや大きく、とそれぞれ、そうなる。これに追従して、二つの % にそれぞれ対応する ϕ 値間（ $\sigma\phi$ の 2 倍）が、顕著に短く、また、普通に短く、とそれぞれ変化する。一方、5% と 16% の二つにそれぞれ対応する ϕ 値間と、84% と 95% の二つにそれぞれ対応する ϕ 値間、と両方の ϕ 値間の和は、岸側から沖側の丸に移るにつれて、微少なりとも増加する事となる。上述の理論から $\beta\phi$ の傾向が導き出される。

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

まず、(Fig. 12) 内の記号を説明すると、 \odot : 弧状沿岸砂州接合部 (Step 型), \ominus : 弧状沿岸砂州中心部 (Bar 型) とそれぞれ明記する。

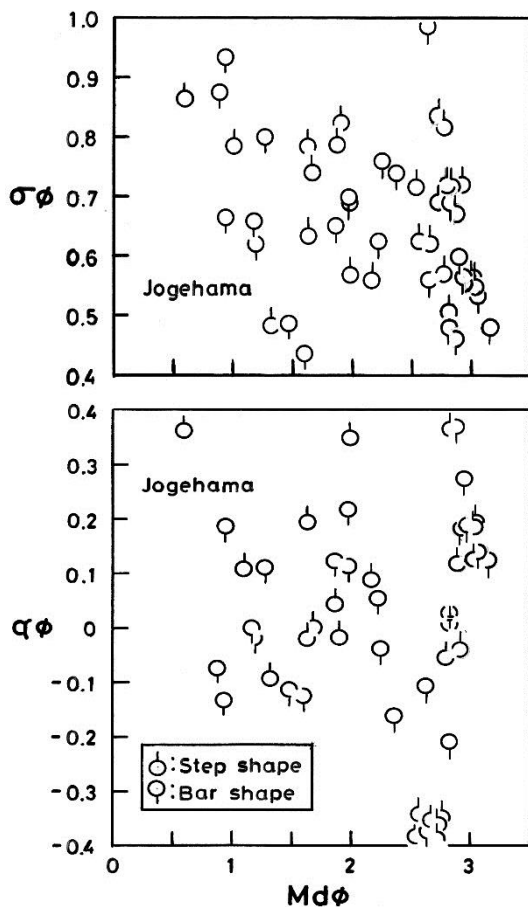


Fig.12 The correlation between $Md\phi$ and $\sigma\phi$, $\alpha\phi$, in the sediment of the sea bottom.

$Md\phi - \sigma\phi$ の相関関係において、 $Md\phi$ の値が \odot で、0.59~3.04 ϕ を示す。 $Md\phi$ の値が 0.59 ϕ から 2.17 ϕ へと細粒化するにつれて、右肩上がりの傾向を示す。この場所は Nearshore 付近であって、沿岸流によって運ばれた砂・礫が多量に堆積する場所でもある。主要成分の頻度が細粒化するにつれて、累積曲線の 16% と 84% 間の傾斜角度が徐々に大きくなると共に、その二つの % にそれぞれ対応する ϕ 値間（ $\sigma\phi$ の 2 倍）も徐々に短くなり、淘汰が良くなる事に繋がる。 $Md\phi$ の値が 2.54~3.04 ϕ 間における淘汰度は、“悪い” から“良い” と縦に変化している。この場所は主に Offshore 付近で、主要成分が微砂に近い細砂と細砂に極めて近い微砂の組成からなっている。あまり移動する事もなく、しまった状態で堆積している砂である。沿岸流と離岸流のベクトルの合成からなる水の流れ、および沿岸流によって主要成分より粗粒な砂が運ばれて来る量の多少によって、ここでは $\sigma\phi$ の値を縦に変化させる。つまり、累積曲線において、16% と 84% 間の傾斜角度が、細粒側はある程度一定に推移する事に対して粗粒側で、大、小と激しく変化する事により、16% に対応する ϕ 値の位置が粗粒側、あるいは細粒側へと移動する。上述の事象の結果、二つの % にそれぞれ対応する ϕ 値間（ $\sigma\phi$ の 2 倍）が長くなったり、短くなったりして、それが縦に変化する事に繋がる。

\ominus で、 $Md\phi$ の値が 0.88~3.15 ϕ を示す。このうちで、 $Md\phi$ の値が 0.88~1.60 ϕ 間は右肩下がり、1.87~2.37 ϕ 間は右肩上がりの傾向をそれぞれ示す。上述の $Md\phi$ の値における二つの区間は、地形の位置からすると Nearshore 付近に相当する場所である。また、“V字型”の傾向とも見える。 $Md\phi$ の値で前者の区間は、主要成分が細粒側へ移動するに従って、累積曲線の 16% に近い粗粒側の傾斜角度を微妙に大きくし、一方、84% に近い細粒側のそれをやや大きくする。上述の二つの % にそれぞれ対応する ϕ 値間（ $\sigma\phi$ の 2 倍）は、細粒側へ移るにつれて徐々に短くなる事から、そのような傾向を示す。また、後者の区間で、主要成分が細粒側へ移動するにつれて、累積曲線の 84% に近い細粒側では、離岸流で運ばれて来た粗粒成分が少量付加して混合する事で、傾斜角度を小さくする。一方、16% に近い粗粒側でも、主要成分が細粒側へ移動するにつれて、粗粒成分も少量付加し混合する事から、傾斜角度がいくらか小さくなる。二つの % にそれぞれ対応する ϕ 値間（ $\sigma\phi$ の 2 倍）は相殺されて徐々に長くなって行く。以上の論述から“V字型”の傾向の説明ができた。 $Md\phi$ の値が 2.64~3.15 ϕ 間は、全体的に大変淘汰が良い。この場所は地形の位置から見て Offshore 付近に当たり、沿岸流や離岸流によって運ばれて来て混合する成分もあまりない。ただ、細砂・微砂が“しまった状態”

で堆積しているから、このような $\sigma\phi$ の値を示す事となる。

$Md\phi - \alpha\phi$ の相関関係において、○で、 $Md\phi$ の値が $0.59 \sim 2.17\phi$ を示す範囲の丸の位置は、地形で見るとNearshore付近に当たる。この区間の傾向は“V字型”のように見える。主要成分が徐々に細粒側へ移動するにつれて、累積曲線の84%に近い細粒側の傾斜角度が徐々に大きくなって行く。一方、16%に近い粗粒側の傾斜角度も徐々に大きくなって行く。これら二つの%にそれぞれ対応する ϕ 値間（ $\sigma\phi$ の2倍）が徐々に短くなると同時に、全体的に細粒側へ移動となる。上述の事象の行動をとる中で、主要成分より粗粒な、あるいは細粒な微量成分が累積曲線の16%に対応の ϕ 値よりも粗粒側に、あるいは84%に対応の ϕ 値よりも細粒側に、と相対する“tail”よりも長いか、短いかによって歪度が決まる。つまり、 $Md\phi$ の値が徐々に細粒化して行って、 $\alpha\phi$ が“V字型”の極低点に到達するまで、累積曲線の84%に対応する ϕ 値より細粒側の“tail”が16%に対応の ϕ 値より粗粒側のそれより長い、細粒側へ移動と共に逆転となる。要は、 $M\phi$ が $Md\phi$ より細粒側へ大きく位置していたが、主要成分の細粒化につれて、 $Md\phi$ を飛び越えて粗粒側へ移動する。この後、 $M\phi$ が $Md\phi$ より粗粒側の位置から $Md\phi$ を飛び越えて細粒側へ位置する事から、そのような傾向となるのである。 $Md\phi$ の値が $2.54 \sim 3.04\phi$ を示す区間で、 $\alpha\phi$ が縦に長く、大きく変化している。このうち、負で大きな値をとる6丸の塊は、地形で言うとOffshoreの位置に当たる。この場所は主に細砂・微砂が混合し、堆積していて、堅く、“しまった状態”である。この測線の隣りの中心部で離岸流や沿岸流と離岸流のベクトルの合成によるそれぞれの流れに、また、粗粒成分自身が浮力を受ける事によって、Nearshore周辺からOffshoreまで単調となった下だり坂を“ころころ”と転がって来て堆積したものと思われる。その粗粒成分の微量の分だけ、累積曲線の粗粒側の“tail”が細粒側のそれよりも一段と長くする事で、負に大きくシフトしたのだろう。上述の事象に追従して、累積曲線の $M\phi$ が $Md\phi$ より粗粒側へ大きく位置する事で、図に示すようになるのだ。

○で、 $Md\phi$ の値が $0.88 \sim 2.25\phi$ を示す区間で、“V字型”の傾向のような気がする。この測線は前述の接合部と違って、 $\alpha\phi$ の値が正でやや小さく、負でやや大きくなっている。 $Md\phi$ の値が $2.37 \sim 3.15\phi$ を示す区間で、前述のように $\alpha\phi$ が縦に長く、正で大きく、負でやや小さい値で変化する。 $Md\phi$ の値が主要成分の混合により細粒側へ移動するにつれて、 $\alpha\phi$ の値が負、正へとシフトし、変化する原理は○のところで詳述したので省く。

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、2010年11月7日、2011年7月27日、2012年7月24日の3回、上下浜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、弧状沿岸砂州接合部と弧状沿岸砂州中心部の2測線とし、各々の測線で3点ずつ行なった。また、構成正規分布集団の頻度の一番目と二番目に大きい集団の $Md\phi$ と%を水深4.0m、6.0m、と言う具合に表にする事にした。これにより、底質の需要と供給および漂砂源等も考察したい。

(1) 2010年11月7日

弧状沿岸砂州接合部 (Fig. 13) において、水深4.5m (水深4.0mの位置で底質試料の採取ができず、4.5mの底質試料を代用)のNearshoreでは、 $Md\phi$ が -0.04ϕ の極粗砂を1.1%、 0.99ϕ の粗砂を20.0%、 1.68ϕ の中砂を64.2%、 2.72ϕ の細砂を14.7%でそれぞれ構成する。水深6.0mでは、 $Md\phi$ が 0.27ϕ の粗砂を2.2%、 $1.10 \sim 1.98\phi$ の中砂を41.8%、 2.81ϕ の細砂を52.7%、 3.32ϕ の微砂を3.3%でそれぞれ構成している。水深9.0mのOffshoreでは、 $Md\phi$ が -1.38ϕ の小礫を0.1%、 -0.14ϕ の極粗砂を1.5%、 0.87ϕ の粗砂を2.1%、 $2.12 \sim 2.88\phi$ の細砂を61.5%、 3.60ϕ の微砂を34.7%でそれぞれ構成する。

この測線の底質採取時期は夏季が終わり、冬季が始まろうとする頃である。また、この測線の海底地形は10

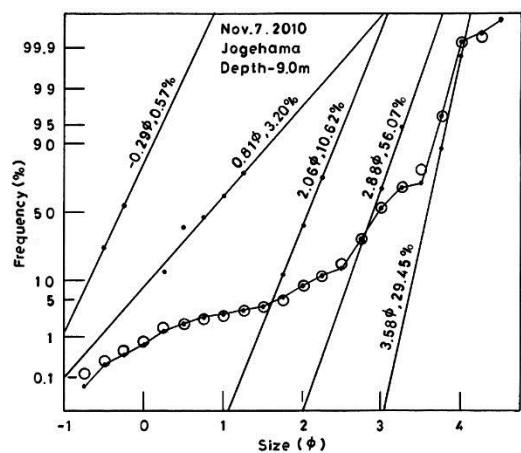
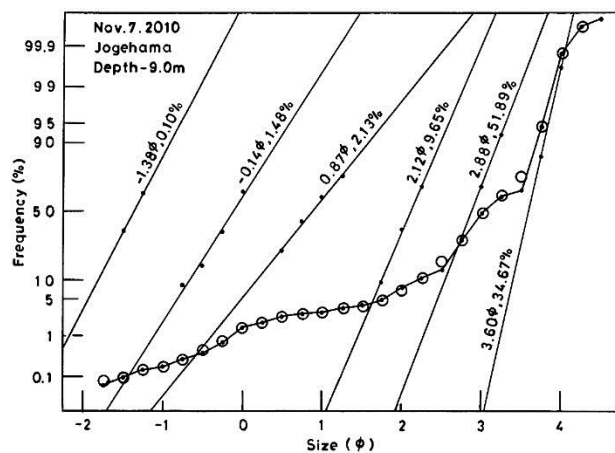
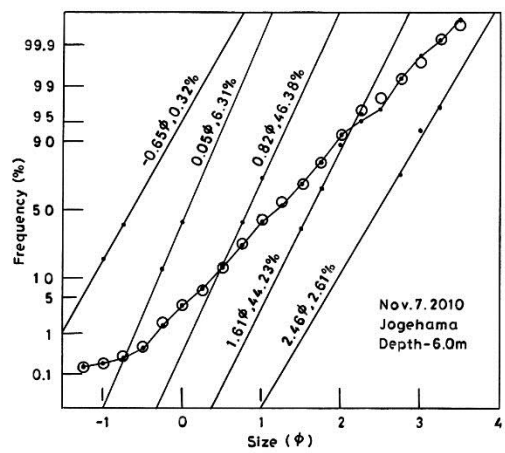
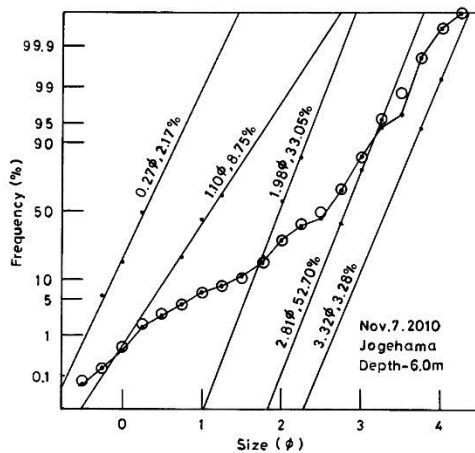
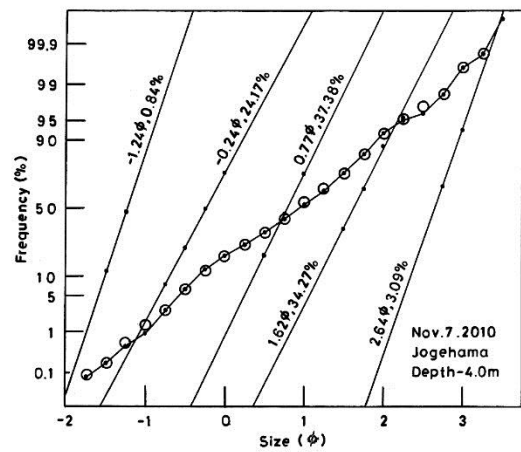
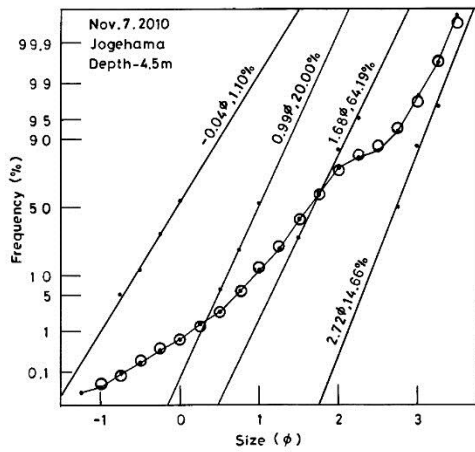


Fig.13 At the jointed measuring line on the crescent-shaped bar.

Fig.14 At the central measuring line on the crescent-shaped bar.

年くらい前 (内山, 2004) (Fig. 8, 10, 12, 14) と比較して大変な変わりようだ。極深部および極浅部がなくなり、岸から沖側へ向かって単調に水深を増している。先述のように、多量の砂が堆積した事がわかる。水深 4.5m と 6.0m の位置は (Fig. 6) の海底地形図から見て、極浅部の“なごり”のような位置より沖側で、沖側斜面と言える。水深 4.5m の位置では北東から南西へ向かう沿岸流により、迫り上がるように分級作用を

施しながら砂を南西側へ運ぶ。この事から、中砂の構成する頻度が 64.2% となり、次に粗砂の構成する頻度が 20.0% となる。水深 6.0m の位置では沿岸流の上手側隣りの中心部からの沿岸流および離岸流とそれのベクトルの合成により、沖側から、また隣りからと、分級作用を受けながら砂が移動する。こういった事象から、集団を構成する頻度が一段と細粒化した。細砂が 52.7%、中砂が 41.8% とそれぞれ構成する頻度になっ

た。水深 9.0m の Offshore では、沖側からの水の流れや分級作用を激しく受ける事で、集団を構成する頻度が細砂の 61.5% となり、二番目が微砂の 34.7% となる。小礫の集団を構成する頻度が 0.1% とあるのは、Nearshore 付近に堆積している少量の小礫等が強大な浮力を受ける事で、堅くしまった砂の斜面を“ころころ”と転がりながら移動し、堆積する事になる。この微量な小礫の粗粒成分が累積曲線で、16% に対応する ϕ 値より粗粒側の“tail”を、その反対側（84% に対応する ϕ 値より細粒側）のそれよりも長くする事で、 $\alpha \phi$ が負にシフトする要因となりえる。

弧状沿岸砂州中心部 (Fig. 14) において、水深 4.0m の Nearshore では、Md ϕ が -1.24 ϕ の小礫を 0.8%、-0.24 ϕ の極粗砂を 24.2%、0.77 ϕ の粗砂を 37.4%、1.62 ϕ の中砂を 34.3%、2.64 ϕ の細砂を 3.1% でそれぞれ構成する。水深 6.0m では、Md ϕ が -0.65 ϕ の極粗砂を 0.3%、0.05~0.82 ϕ の粗砂を 52.7%、1.61 ϕ の中砂を 44.2%、2.46 ϕ の細砂を 2.6% でそれぞれ構成している。水深 9.0m の Offshore では、Md ϕ が -0.29 ϕ の極粗砂を 0.6%、0.81 ϕ の粗砂を 3.2%、2.06~2.88 ϕ の細砂を 66.7%、3.58 ϕ の微砂を 29.5% でそれぞれ構成する事になる。

この測線は中心部とあって、北東から南西への沿岸流と離岸流が相当程度、激しく砂・礫の移動に左右したようだ。また、両方の水の流れによるベクトルの合成が大いに寄与したように感じる。海底地形図 (Fig. 7) においても、Trough と Bar の比高がほとんどなく、棚状に見える。水深 4.0m の Nearshore と水深 6.0m の集団を構成する頻度をそれぞれ比較する。水深 4.0m の位置では粗砂が 37.4%、中砂が 34.3%、極粗砂が 24.2% と、それぞれ構成するが、水深 6.0m の位置では粗砂が 52.7%、中砂が 44.2% と、それぞれ構成となる。水深 6.0m の位置が以前の Trough を表わしているようで、ここに、沿岸流および離岸流によって運ばれて来た砂が分級作用を受けて淘汰を良くした多量の砂を堆積する事になった。それが、集団を構成する頻度の増減に大いに貢献する事になった。水深 9.0m の Offshore においては一段と細粒化し、細砂と微砂で 85.5% の集団の構成となった。また、粗粒成分の極粗砂および粗砂が微量だけ存在するのは、Nearshore 付近から離岸流によって運ばれ、浮力も付加する事で、堅くしまった砂の上を“ころころ”と転がって、この地点に堆積し、混合したようだ。この微量さが累積曲線上にもたらす動作については前述したので省略する。

(2) 2011 年 7 月 27 日

弧状沿岸砂州接合部 (Fig. 15) において、水深 4.0m の Nearshore では、Md ϕ が -0.12 ϕ の極粗砂を 0.5%、0.84 ϕ の粗砂を 18.6%、1.83 ϕ の中砂を 55.4%、2.74

ϕ の細砂を 24.5%、3.41 ϕ の微砂を 1.1% でそれぞれ構成している。水深 6.0m では、Md ϕ が 1.11~1.97 ϕ の中砂を 35.1%、2.81 ϕ の細砂を 58.5%、3.49 ϕ の微砂を 6.1% でそれぞれ構成する。水深 9.0m の Offshore では、Md ϕ が -1.70 ϕ の小礫を 0.2%、-0.24 ϕ の極粗砂を 0.6%、0.53 ϕ の粗砂を 2.0%、2.00 ϕ の中砂を 8.1%、2.87 ϕ の細砂を 53.5%、3.61 ϕ の微砂を 35.6% でそれぞれ構成する事になる。

この測線の底質採取時期は夏季に入って間もなく、冬季に変化した底質の構成集団が“なごり”として残っているようだ。極深部と極浅部の比高がなくなって、多量の砂で埋めつくされてしまった。単調に岸から沖へ向かって水深を増して、この測線自体も、2010 年 11 月 7 日に測量の海底地形図 (Fig. 3) と今回測量の海底地形図 (Fig. 4) を比較し、北東側へ約 200m 程移動した事がわかる。また、集団を構成する頻度においても、水深 4.0m の Nearshore で、粗砂と中砂の構成する頻度がそれぞれ 18.6%、55.4% と減少し、その代わり細砂の構成する頻度が 24.5% と増加した。また、新たに微砂の構成する頻度が 1.1% と、出現した。このように一段と細粒化した事がわかる。水深 6.0m では、去年の同位置の集団を構成する頻度と比較して、中砂が 35.1% と粗粒成分が減少し、細砂が 58.5%、微砂が 6.1% と細粒成分が増加する事で、一段と細粒化が進んだ。この位置（水深 6.0m）は、(Fig. 8) の海底地形図からわかるように極浅部沖側斜面に当たる。南西から北東へ進む沿岸流が多量の砂に分級作用を施しながら、迫り上がるようにして順次北東側へと運んだ。一方、この測線の南西側で、沿岸流の上手側隣りの中心部（定点 0 より南西へ約 1,000m 付近の谷）で発生する離岸流とのベクトルの合成の水の流れによって、Bar も十分に発達していないにもかかわらず、ある程度沖側から岸側へ細砂を運ぶ事になった。水深 9.0m の Offshore では、去年のこの位置の集団を構成する頻度と比較して、細砂と微砂が微量増加した程度だ。故に、この位置が水の流れや波の影響を受けない事で、移動限界水深と言える。

弧状沿岸砂州中心部 (Fig. 16) において、水深 4.0m の Nearshore では、Md ϕ が -0.25 ϕ の極粗砂を 0.7%、0.94 ϕ の粗砂を 13.1%、1.84 ϕ の中砂を 65.7%、2.66 ϕ の細砂を 19.6%、3.52 ϕ の微砂を 0.9% でそれぞれ構成している。水深 6.0m では、Md ϕ が -0.98 ϕ の極粗砂を 0.2%、0.01~0.81 ϕ の粗砂を 53.4%、1.62 ϕ の中砂を 41.9%、2.66 ϕ の細砂を 4.3% でそれぞれ構成する。水深 9.0m の Offshore では、Md ϕ が -1.91 ϕ の小礫を 0.4%、-0.39 ϕ の極粗砂を 0.3%、0.46 ϕ の粗砂を 1.8%、1.98 ϕ の中砂を 8.3%、2.90 ϕ の細砂を 53.6%、3.61 ϕ の微砂を 35.5% でそれぞれ構成する事

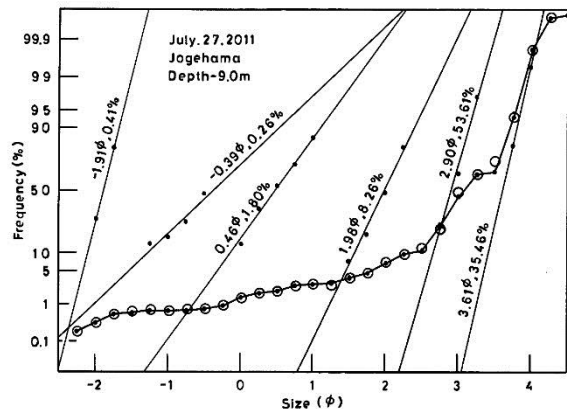
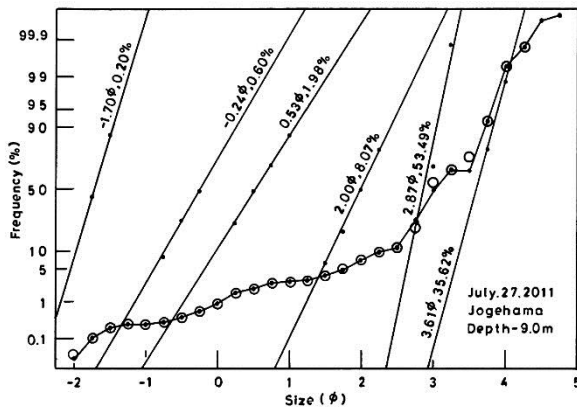
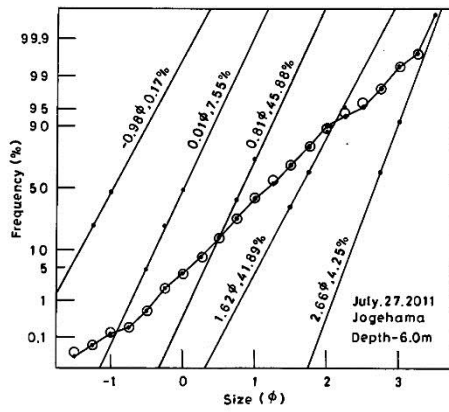
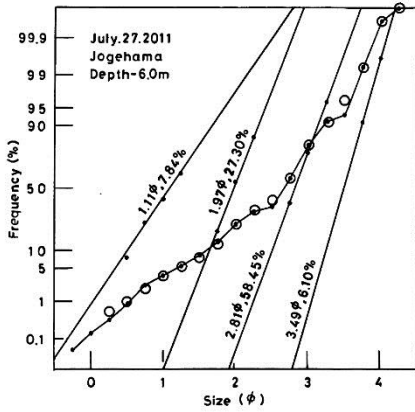
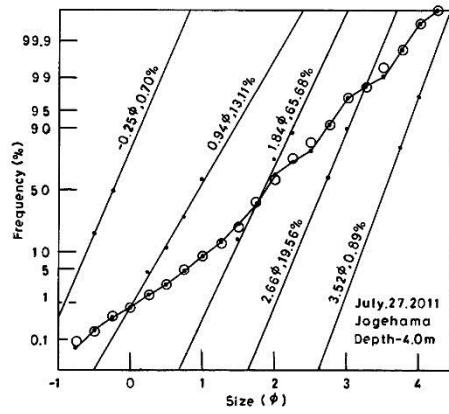
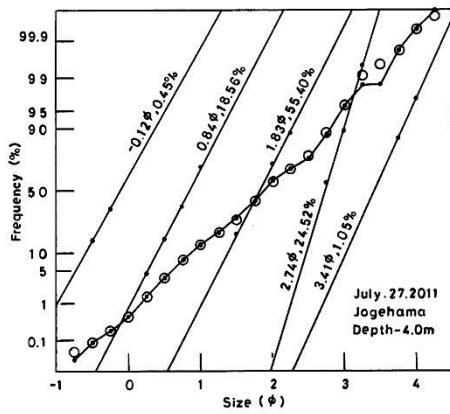


Fig.15 At the jointed measuring line on the crescent-shaped bar.

Fig.16 At the central measuring line on the crescent-shaped bar.

になる。

この測線の海底地形図 (Fig. 9) は、去年のこの海底地形図 (Fig. 7) と比較すると、多量の砂の堆積によりソファーのように丸みを帯びた形状から棚状の角張った状態で、微妙に Trough と Bar の比高も発生すると共に、一足に (Trough と Bar 共に) 岸側へ移動したように思える。水深 4.0m の Nearshore では、中砂が 65.7% と極端に集団を構成する頻度を上げた。去年のこの位置で、極粗砂が 24.2%、粗砂が 37.4% と集団を構成した事象に入れ代わって、細砂が 19.6% となった。多量に細粒化した砂が堆積した事になる。冬季の季節風に

よって、南西から北東へ向かう沿岸流が激流となって襲ったのであろう。それと共に、離岸流とのベクトルの合成も壮大に行なわれたであろう。当然、分級作用も盛大に施されたに違いない。そのおかげで、この測線自体が去年のこの測線と比較して、北東側へ約 200m 程移動となった。水深 6.0m では、去年のこの位置の集団を構成する頻度である粗砂の 52.7%、中砂の 44.2% から、僅かではあるが、それぞれ頻度を上げ、落としている。この位置は Bar の頂部らしき様相の箇所より微少、沖側である事から、あまり、水の流れがなかったかも知れない。水深 9.0m の Offshore では、去年の

この位置の集団を構成する頻度に比較して、微少分だけ細砂で下げ、微砂で上げている。つまり、この位置が移動限界水深に違いない。また、小礫および極粗砂が微量だけ存在するのは、Nearshore 付近から離岸流によって運ばれ、それに浮力も手伝って堅くしまった砂の上を“ころころ”と転がってこの位置に堆積し、混合したようだ。この微量さによる累積曲線上の事象は先述したので、ここは省略する。

(3) 2012年7月24日

弧状沿岸砂州接合部 (Fig. 17) において、水深 4.0m の Nearshore では、Md ϕ が 0.29~0.91 ϕ の粗砂を 29.5%、1.75 ϕ の中砂を 56.1%、2.73 ϕ の細砂を 13.4%、3.36 ϕ の微砂を 1.0% でそれぞれ構成している。水深 6.0m では、Md ϕ が 0.96 ϕ の粗砂を 4.7%、1.92 ϕ の中砂を 57.9%、2.73 ϕ の細砂を 34.7%、3.29 ϕ の微砂を 2.7% でそれぞれ構成する。水深 9.0m の Offshore では、Md ϕ が -1.60 ϕ の小礫を 0.5%、-0.70 ϕ の極粗砂を 0.9%、0.43 ϕ の粗砂を 2.2%、2.05~2.82 ϕ の細砂を 72.6%、3.62 ϕ の微砂を 23.4%、でそれぞれ構成する事になる。

この測線の底質採取時期は去年とほぼ同時期で、7月下旬である。しかし、それぞれの集団を構成する変化の状況を見ると、どうも夏季の最高潮の感じがする。この測線自体も、2011年7月27日に測量の海底地形図 (Fig. 4) と今回測量の海底地形図 (Fig. 5) を比較した時、南西側へ約 200m 程移動した事がわかる。集団を構成する頻度においても、去年の水深 4.0m の Nearshore で中砂を 55.4%、細砂を 24.5% であったが、今回は中砂を 56.1%、粗砂を 22.9% となった。中砂の頻度が若干上がり、細砂に入れ代わって粗砂の 22.9% の頻度の出現となった。北東から南西へ向かって猛烈な勢いで沿岸流が発生したようだ。この事で、この沿岸流の上手側から粗粒成分を多量に含む砂を分級作用を施しながら、迫り上がるようにして順次南西側へ移動しながら積み上げたようだ。また、この沿岸流の上手側隣りに位置する中心部の Trough や Bar も多量な砂の堆積で真の棚状化したため、離岸流とのベクトルの合成による岸向きの水の流れがほとんど消滅したのではないか。水深 6.0m では、この位置の集団を構成する頻度を去年と比較すると、細砂が 58.5% から 34.7% と下がり、一方、中砂が 27.3% から 57.9% と上がる様相だ。つまり、粗粒成分と細粒成分が頻度の上で逆転した事で、また、上述の事象からも、沿岸流によって運ばれて来てこの位置に堆積した事が自明の理となったようだ。水深 9.0m の Offshore では、去年のこの位置での集団を構成する頻度と比較する時、細砂が微少上がり、微砂が微少下がっている。上述のごとく、粗粒成分が増加し、細粒成分が減少の逆転現象となった。

しかし、この位置で波や水の流れの影響がなく、あまり変化もない事から、移動限界水深と言える。この集団を構成する頻度の中で、小礫が 0.5%、極粗砂が 0.9% というような粗粒成分の存在は、Nearshore 付近から単調になった下だり坂を、浮力も手伝って“ころころ”と転がるように移動し、この位置に堆積し、混合したようだ。この微量による累積曲線上の動作は先述のごとくで、省略する。

弧状沿岸砂州中心部 (Fig. 18) において、水深 4.0m の Nearshore では、Md ϕ が 0.26~0.98 ϕ の粗砂を 8.6%、1.80 ϕ の中砂を 55.9%、2.78 ϕ の細砂を 32.0%、3.39 ϕ の微砂を 3.4% でそれぞれ構成する。水深 6.0m では、Md ϕ が 0.09~0.74 ϕ の粗砂を 64.8%、1.62 ϕ の中砂を 30.5%、2.71 ϕ の細砂を 3.9%、3.61 ϕ の微砂を 0.4% でそれぞれ構成している。水深 9.0m の Offshore では、Md ϕ が -0.84 ϕ の極粗砂を 0.7%、0.35 ϕ の粗砂を 1.8%、2.08~2.84 ϕ の細砂を 72.1%、3.58 ϕ の微砂を 25.2% でそれぞれ構成する事になる。

この測線の地形図 (Fig. 11) は、去年のこの測線の地形図 (Fig. 9) と海底地形の面で比較して、汀線から水深 10.0m までの平均傾斜がやや緩くなったようだ。Trough と Bar の比高も全然なくなった。(Fig. 2) -①のように測量した海底地形図のうち、去年の海底地形図 (Fig. 4) と今回の海底地形図 (Fig. 5) を比較した時に、接合部の測線が南西側へ約 200m 程移動したのに対し、この測線が何も移動する事もなく、多量の砂を堆積させ、1.0m 近く浅くなった。また、前回で、定点 0 より北東へ約 600m と約 950m 付近の小高い二つの山が今回の海底地形図で、定点 0 より北東へ約 700m の地点付近に一つの山となって、砂が堆積した事がわかる。水深 4.0m の Nearshore では、去年のこの測線で、中砂が 65.7%、細砂が 19.6% と集団を構成しているのに対し、今回は、中砂が 55.9%、細砂が 32.0% とそれぞれ集団の構成である。中砂の粗粒成分の減少、細砂の細粒成分の増加となる。上述の事象から、北東から南西へ向かう強烈な沿岸流によって多量な砂が運ばれて来て堆積となったようだ。この測線のこの位置で積み上がって、砂を南西側へ移動の行為もなく、単に分級作用を激しく受ける事となる。この激しい分級作用によって発生した砂のうちの粗粒成分が北東から南西へ向かう強烈な沿岸流により運ばれて、沿岸流の下手側で中心部の隣りの接合部の水深 4.0m 付近に堆積。この事から、先述の事象の集団を構成する頻度の変化が起きる事となる。水深 6.0m では、去年の集団を構成する頻度と比較すると、粗粒成分の粗砂が増加し、細粒成分の中砂が減少している。この場所は地形図 (Fig. 11) で、Trough のような形跡をしていて、もっぱら沿岸流によって運ばれた砂が堆積し、混合したようだ。水深

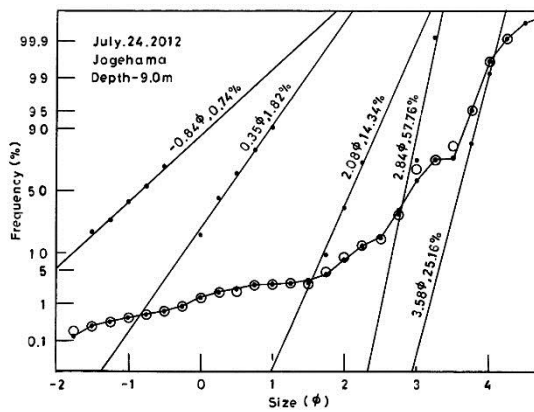
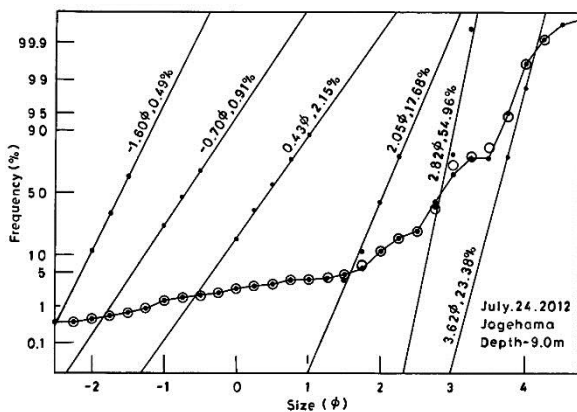
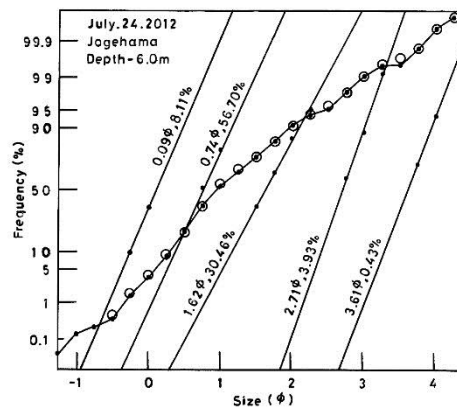
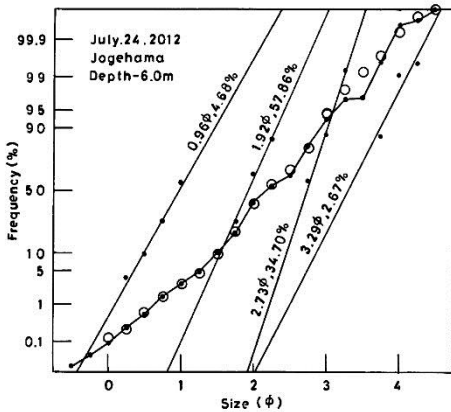
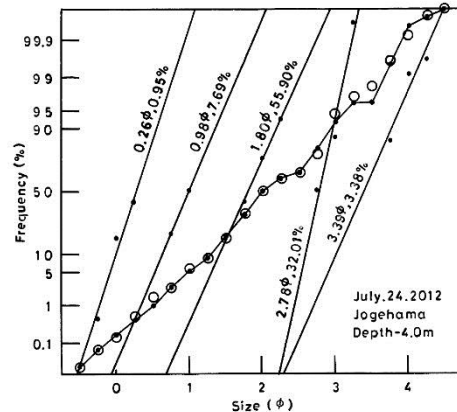
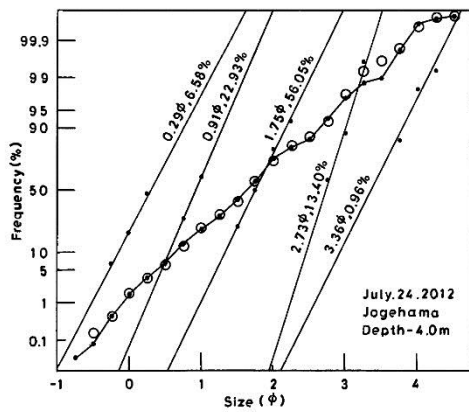


Fig.17 At the jointed measuring line on the crescent-shaped bar.

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

9.0m の Offshore では、去年の集団を構成する頻度と比較した時、粗粒成分の細砂が微小に増加し、細粒成分の微砂が微小に減少している。また、極粗砂の 0.7% で集団を構成するのは、主に離岸流によって Nearshore 付近から運ばれ、緩やかな斜面を浮力も手伝って、“ころころ”と転がって移動して行き堆積したようだ。

(4) 構成正規分布集団の解析から漂砂源の探究と予想

まず、(Fig. 2) ①, ②, ③の測量した海底地形図の比較から詳述したい。①で測量の海底地形図で、(内山, 2004) の 2001 年 8 月 6 日, 2002 年 8 月 31 日,

2003 年 8 月 23 日, 2003 年 10 月 7 日と今回の 2010 年 11 月 7 日, 2011 年 7 月 27 日, 2012 年 7 月 24 日, と双方を比較する。波長では、前回の約 400~700m 程だったのに対し、今回は約 300~1,200m と相当長くなった。比高では、前回の約 0.9~3.6m あったのに対し、今回も同値のようだ。全体的に平均 1.0~1.5m の砂が堆積した事がわかる。次に、②と③で測量の海底地形図では、極深部と極浅部あるいは Trough と Bar の比高は前回の約 1.0~2.0m なのに対し、今回はほとんどない。上述の事象から、極深部あるいは Trough 共に多量の砂が堆積し、埋めつくされてしまった。このため極深部、

Table 1 Md ϕ and Frequency(%)

Depth:4.0m(Nearshore) (Depth:4.5m, only the measuring line of Step-shape on Nov.7.2010) Jogehama

		The jointed measuring line on the crescent —shaped bar				The central measuring line on the crescent —shaped bar			
		SW \leftarrow 0		SW \leftarrow 0		(a fixed point) 0		0 \rightarrow NE	
		about 400m		about 200m				about 200m	
		First	Second	First	Second	First	Second	First	Second
Nov.7.2010	Md ϕ	1.68	0.99			0.77	1.62		
	%	64.2	20.0			37.4	34.3		
July.27.2011	Md ϕ			1.83	2.74			1.84	2.66
	%			55.4	24.5			65.7	19.6
July.24.2012	Md ϕ	1.75	0.91					1.80	2.78
	%	56.1	22.9					55.9	32.1

極浅部は跡形もなく、岸から沖へ向かって単調に水深を増すのみである。一方、TroughとBarは、それらしき様相の棚状となって出現した。これらの事象に追従して、岸側へ徐々に近付きつつ、砂を堆積した事が、それぞれの海底地形図からもわかる。

「浅海地質学」1970年の227ページの第67図での説明は上述の事象と大体類似した論述である。このような動作がある事で、海浜と海底間で砂・礫の収支のバランスが良くなり、海浜が安定する事になる。それは、先述したそれぞれの海底地形図と合わせて次の論述で実証を得たのである。前回測量の頃の海岸と言うと、冬季において厳しい季節風により西ないし北西から高い波がやって来る。これに追従して南西から北東へ向かう沿岸流が猛烈に発達する事になる。それにより、定点0付近より北東側で、海浜に堆積の砂・礫が侵食されて多分、弧状沿岸砂州中心部のBarに堆積してしまったようだ。そのため傾斜護岸の前面に砂・礫がなくなり、砕波した波の先端が傾斜護岸の中程まで溯上する事が常だった。しかし、今回測量の頃には、冬季においても海浜の幅は狭くなりながらも砂・礫が残っていた。このような度度、熟慮なる観察を続け確証を得たのである。しかし、安定したとは言え、全く心配ないとは言えない。それは2014年2月に起こった。局所的に傾斜護岸の破壊が起きて、この奥に堆積の海岸砂丘砂が多量に吸い出され、流出し、沿岸流によって運ばれ堆積となった。海岸砂丘砂が堆積となっ

た別の地点では、様々な粒径の砂や礫と混合し、また、いろいろな水の流れから作用を受けて、この別の地点で、砂・礫の収支のバランスと安定に貢献したのではないかと考えている。この場所、地点は弧状沿岸砂州中心部であって、これと対をなし海浜では、大カスプの湾入部となる。西ないし北西から大きな波がやって来た時、先述のように海底地形のTrough, Barが棚状(2014年10月2日の深淺測量の結果、極深部と極浅部およびTroughとBarのそれぞれの比高が約0.7m、約1.0mと、明瞭な弧状沿岸砂州であった。但し、相当程度、汀線に近付いているのがわかる。前述の事象から、傾斜護岸の破壊が起こった2月頃には恐らく10月2日に測量したような様相であったと思われる。)であっても一応弧を描いているので、凸レンズの役目をする。沖から来た大きな波は破壊が起きた傾斜護岸の部分に焦点を合わせ襲う事となった。この後、集団を構成する頻度の一番目と二番目、とそれらのMd ϕ を水深4.0m, 6.0mについて表にする。これにより、漂砂源と、どのように移動するかを推測し、この事象が確証に至る事を期待する。

Table 1の水深4.0mのNearshoreでは、2010年11月7日から2011年7月27日までに弧状沿岸砂州接合部と中心部の二つの測線が北東側へ約200m程移動した事になっている。つまり、冬季による激しい季節風で、沿岸流も南西から北東へ激流となって流れ、当然砂もその方向で運ばれる。この事から漂砂源は沿岸流

Table 2 Md φ and Frequency(%)

Depth:6.0m Jogehama

		The jointed measuring line on the crescent —shaped bar				The central measuring line on the crescent —shaped bar			
		SW ← 0 about 400m		SW ← 0 about 200m		(a fixed point) 0		0 → NE about 200m	
		First	Second	First	Second	First	Second	First	Second
Nov.7.2010	Md φ	2.81	1.98			0.82	1.61		
	%	52.7	33.1			46.4	44.2		
July.27.2011	Md φ			2.81	1.97			0.81	1.62
	%			58.4	27.3			45.9	41.9
July.24.2012	Md φ	1.92	2.73					0.74	1.62
	%	57.9	34.7					56.7	30.5

の上手側である事が推測できる。この測量日は夏季の入り口の頃で、冬季で堆積したままの状態であろう。多少、水の流れや波によって移動したり、分級作用を受けたかもしれない。集団を構成する頻度で見ると、接合部で一番目の中砂のMdφが少し細粒化し、頻度も落とした。二番目の粗砂の頻度がなくなり、それに入れ代わって細砂がその座に着いた。一方、中心部では去年粗砂、中砂とで一番目と二番目と言うような頻度の順番であったが、粗砂の頻度がなくなり、それと入れ代わりに中砂が高い頻度で一番目の座に着き、二番目に細砂の頻度が出現した。よって、中砂を中心とした細粒化した砂が沿岸流によって運ばれて来て堆積し、混合したようだ。漂砂源は、この沿岸流の上手側の土底浜、四ツ屋浜、うの浜、付近であろうと推測できる。

2011年7月27日から2012年7月24日の間において、接合部は南西側へ約200m程移動したが、中心部はそのまま、移動がなかった。夏季における沿岸流の北東から南西への水の流れが大きく反映している冬季の沿岸流程強くないため、中心部には分級作用のみ施して素通りし、接合部に対して大きく関与し、南西側へ約200m程移動となった。集団を構成する頻度で見ると、接合部で一番目の中砂のMdφが微妙に粗粒化して、頻度も上げた。二番目の細砂の頻度がなくなり、それに入れ代わって粗砂の頻度が出現した。この事象から、この測線が粗粒化した事がわかる。一方、中心部では、

一番目の中砂のMdφが微妙に粗粒化し、頻度も下がった。二番目の細砂のMdφが微妙に細粒化し、頻度も上がった。この測線の移動がなかった分、沿岸流によって分級作用を最も大きく受けて堆積、混合したであろう。よって、漂砂源はこの沿岸流の上手側の柿崎、直海浜付近ではないかと推測できる。

Table2の水深6.0mでは、2010年11月7日から2011年7月27日までに集団を構成する頻度の変化を見ると、接合部で一番目の細砂の頻度が微妙に増加し、二番目の中砂の頻度が僅か減少している。水深6.0mの地点は、岸から沖へ向かって単調に水深を増して行く海底地形で、極深部と極浅部の形跡が残る少し窪みのOffshoreの手前である。南西から北東へ向かう沿岸流により細砂を中心とした砂をその上手側から多量に運んで来て、迫り上がるようにして徐々に移動して行った。沿岸流と離岸流とのベクトルの合成で沖から岸へ向かって砂を積み上げるようにして、極深部を埋めつくしながら岸に近付いたようだ。中心部で、水深6.0mの地点は沿岸流の方向から見て陰になる部分であって、その水の流れによって運ばれて来る砂はあまりないのではないか。もっぱら去年までに堆積していた砂を積み上げるようにして、徐々に北東側へ伸ばしながら移動したと考えられる。去年の集団を構成する頻度と然程変化はない。むしろ、この測線は中心部である事から、離岸流により盛大に分級作用を受けて移動し、この地点に堆積したように思える。Table1の水深4.0m

の Nearshore で去年の集団を構成する頻度が粗砂で 37.4%, 中砂で 34.3%であることから, 前述の事象が証明できる。

2011年7月27日から2012年7月24日までに集団を構成する頻度の変化を見ると, 接合部で去年の一番目が細砂で 58.4%, 二番目が中砂で 27.3%である。それが今年になって, 測線自体が南西側へ約 200m 程移動と共に, 一番目に中砂の 57.9%, 二番目に細砂の 34.7%, 互いに集団を構成する Md ϕ , 頻度の順番が逆転した。また, Table 1 の水深 4.0m の Nearshore で中心部の 2011年7月27日, 2012年7月24日のそれぞれ集団を構成する Md ϕ がやや類似する事から, 沿岸流もしくは, それと離岸流によるベクトルの合成で発生する水の流れによって分級作用を受けながら運ばれて来て堆積のような気がする。中心部において, 2010年11月7日から2011年7月27日までの集団を構成する頻度の変化を考察する。2010年11月7日で, 一番目の粗砂が 46.4%, 二番目の中砂が 44.2%と, それぞれの構成である。2011年7月27日になると, 一番目が粗砂で 45.9%, 二番目が中砂で 41.9%と, それぞれ構成する。このように, 集団を構成する Md ϕ と頻度の順番は変わらないが, 頻度がそれぞれ僅か下がっている。地形図 (Fig. 7) と地形図 (Fig. 9) を比較した時, 後の方の Trough の幅が狭くなって, Bar らしき山が岸側へ移動したように思える。この事から, 冬季に発生する南西から北東へ向かう沿岸流によって, 粗砂と中砂よりも細粒な砂が運ばれて来て堆積し, 混合する事で希釈する。よって, 粗砂と中砂の集団を構成する頻度が下がった。2011年7月27日から2012年7月24日までの集団を構成する頻度を見ると, 粗砂の頻度が上がり, 中砂のそれが下がっている。2011年7月27日に測定の図 (Fig. 4) に, 定点 0 より北東へ約 600m と約 900m の地点付近に小さな二つの山があった。しかし, 2012年7月24日に測定の図 (Fig. 5) には, 定点 0 より北東へ約 700m の地点付近に一つの山となって出現した。この事から, 夏季の沿岸流である北東から南西へ向かう水の流れによって, 前述の小さい二つの山が合体して出現したように, 大胆に粗砂を中心とした砂を運び, この測線のこの地点に堆積したのだろう。そのため, 南西側への移動はなかったものの, 水深を 1.0m 近く浅くした。

Table 1 と Table 2 で, 二つの測線の弧状沿岸砂州接合部, 中心部のそれぞれの集団を構成する頻度を考察して次の事象が考えられる。まず第一に, 南西から北東へ向かう沿岸流の時は, それぞれの集団を構成する頻度が細粒側に上がる。第二に, 北東から南西へ向かう沿岸流の時は, それぞれの集団を構成する頻度が粗粒側に上がる。

上述の事象を元にして漂砂源の考察を行なう。冬季の季節風によって発生する沿岸流は南西から北東へ向かって流れるので, 当然この流れの上手側に漂砂源が存在すると考えられる。近年, 直江津港防波堤の延伸が完成した事による漂砂系の分断と関川からの土砂の遮断が常態化している。こうなると供給源がない事になり矛盾する。そのように考えて行くと, 直江津港より北東側で海浜の後浜基部に形成の海岸砂丘以外にはない事がわかる。特に, 土底浜, 四ツ屋浜, 潟町の海岸線に既設の護岸・ブロックの隙間からの流出砂がそれではないか。

一方, 北東から南西へ向かって流れる沿岸流の上手側となると, 直海浜, 柿崎, 米山である。こちらも柿崎漁港の突堤が直江津港での様相と類似し, 柿崎港より北東側, からの漂砂を遮断しているようだ。直海浜や突堤の根元で傾斜護岸が局所的な破壊を起こし, そこから海岸砂丘砂が流出し, 上下浜の各箇所に運ばれて来るようだ。両方向から上下浜の各地点に運ばれて堆積する海岸砂丘砂は, 途中で何重も分級作用を受けて淘汰されるが, 上下浜の弧状沿岸砂州に堆積の砂と, 両方向からの沿岸流の上手側でそれぞれ海浜の後浜基部に形成の海岸砂丘砂の集団を構成する頻度がそれぞれ互いに類似か, または, やや粗粒側の頻度が高いようだ。

ここで, 推測として, 漂砂源は上下浜の北東側あるいは南西側で, 海浜の後浜基部に形成の海岸砂丘とした。

なお, 海岸砂丘砂の構成正規分布集団の解析図で, 直海浜・上下浜付近 (2004, 内山) (Fig. 24), 土底浜・四ツ屋浜・潟町付近 (2010, 内山) (Fig. 14) を見ていただきたい。

4. 結語

自然の節理に従って常に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, 主に弧状沿岸砂州で行なった。これらの調査・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。

(1) 汀線より沖へ約 200m の地点を, 汀線に沿って南西から北東へ向かって深淺測量の海底地形

波長は 3 回で約 300~1200m を示し, 比高は, 1 回目では約 0.9~2.3m を示す。2 回目は約 0.9~3.6m であって, 3 回目は約 0.9~2.5m 程となる。1 回目から 3 回目までの間に約 1.0~2.0m 浅くなり, 砂が堆積した事がわかる。1 回目から 2 回目にかけて, 南西から北東へ向かう強烈な沿岸流が発生し, 山 (弧状沿岸砂州接合

部), 谷 (弧状沿岸砂州中心部) 共に北東側へ約 200m 程移動した。2 回目から 3 回目にかけて, 北東から南西へ向かう強烈な沿岸流の発生により, 山 (弧状沿岸砂州接合部) が南西側へ約 200m 程移動した。しかし, 谷 (弧状沿岸砂州中心部) の移動はなかった。上述の事象に追従して, 海浜上の大カスプの突出部, 湾入部が山 (弧状沿岸砂州接合部), 谷 (弧状沿岸砂州中心部) にそれぞれ対応し, 対をなして移動した事がわかる。このように自然の節理に従って, カオス的に変化する。あらゆる事象より最も先行して海底, 特に弧状沿岸砂州が変化し始める事がわかる。また, 海底と海浜間の砂・礫の収支のバランスも良くなり, 安定して来た事も知り得る。

(2) 岸沖方向の海底地形

弧状沿岸砂州接合部 (Step 型断面形) において, 3 回共岸から沖へ向かって単調に水深を増して行く様相である。1 回目から 2 回目の間に, 南西から北東へ向かう沿岸流と 2 回目のこの測線の南西側すぐ隣りの中心部で, その水の流れと離岸流とのベクトルの合成による流れ, 等によってこの測線自体が北東側へ約 200m 程移動し, 極深部が運ばれて来た砂で埋めつくされ, 極浅部の形跡を残したまま岸へ近付いたようだ。2 回目から 3 回目の間に, 前述の全く反対の水の流れ等の作用を受けて測線自体が前述の反対側へ移動し, 極深部が運ばれて来た砂で埋めつくされ, 極浅部の形跡を残したまま岸へ近付くようになった。

弧状沿岸砂州中心部 (Bar 型断面形) において, 3 回共 Trough が運ばれて来た砂で埋めつくされ, Bar との比高も僅かばかりとなった。棚状化して, 1 回目, 2 回目, 3 回目と回を重ねるにつれ, 棚状の幅が狭くなっている。1 回目から 2 回目の間に, 南西から北東へ向かう沿岸流によって多量な砂が運ばれて来て Trough を埋めつくし, この測線自体が北東側へ約 200m 程移動した。離岸流も猛烈な発達により Nearshore 周辺に堆積の沿岸流によって運ばれて来た砂を沖へ運ぶ。それに伴って Bar 沖側の端を削って沖へ運ぶ事で, 棚状の形状が角ばるようになり, その幅も狭くなった。棚状自体も岸に近付いた事になる。2 回目と 3 回目間に北東から南西へ向かう沿岸流が猛烈に発達し, この水の流れの下手側の接合部を南西側へ約 200m 程移動となったが, この測線は静止していた。その代わりに, 離岸流の発達により, 沿岸流で運ばれて来た多量な砂を沖へ運び, また Bar 沖側の端を削って沖へ運ぶ事で, 棚状の幅もますます狭くなった。それに追従して, 棚状自体も文字どおり“平ら”と化し, 岸に近付き, この地形自体の平均傾斜が微妙に変化した。なお, 地形の箇所, 1 回目: 2010 年 11 月 7 日, 2 回目: 2011 年 7 月 27 日, 3 回目: 2012 年 7 月 24 日にそれぞれ測量

した地形。

(3) 海底底質の粒度組成 (近似計算による)

Md ϕ は, 弧状沿岸砂州接合部で, Nearshore の 1.0~2.5 ϕ の中砂・細砂から, Offshore の 3.0 ϕ 前後の細砂・微砂まで, 岸から沖へ向かって右肩上がりで細粒化して行っている。2011 年 7 月 27 日の水深 8.0m の値が 0.5 ϕ 前後と, 粗粒化した。また, 同じく, 水深 3.0m と 4.0m の値が 2.0 ϕ 近似の中砂で細粒化となった。上述の 2 箇所が全体的な傾向から逸脱した。この測線は, 両方向からの沿岸流によって運ばれて来た多量な砂の堆積と, 離岸流とその流れとのベクトルの合成による岸向きの流れで運ばれた砂によって, また分級作用も多大に受けて細粒化した。恐らく, 0.5~1.5m くらいの砂が堆積していて, この下には 10 年くらい前に多量堆積していた礫が見られるのではない。

弧状沿岸砂州中心部で, Nearshore の 1.0 ϕ 前後~2.5 ϕ の粗砂・中砂・細砂から, Offshore の 3.0 ϕ 前後の細砂・微砂まで岸から沖へ向かって右肩上がりで細粒化の傾向を示す。2011 年 7 月 27 日の水深 6.0m と 7.0m の値が 1.0~1.5 ϕ の中砂で主要成分を組成する。2012 年 7 月 24 日の水深 6.0m の値が 1.0 ϕ 近似の粗砂で主要成分を組成し, 上述の 2 箇所と合わせて, それらの傾向を逸脱した。この測線は, 両方向から猛烈に発達した沿岸流により多量な砂が運ばれて来て, この Nearshore 周辺に堆積となるが, それ以上強烈な離岸流によって沖へ運ばれる事になる。上述の 3 箇所は Trough や Bar らしき周辺に位置し, 離岸流の多大なる作用を受ける事が主要成分の粗粒化に繋がる。礫に関しては, 前述の測線と類似した事象が言えると思う。

$\sigma\phi$ は, 弧状沿岸砂州接合部で, 2010 年 11 月 7 日においては, 汀線より沖へ約 450m の地点付近で極大値を示し, ここを頂点とする山型の傾向だ。本来, Md ϕ の値が岸から沖へ向かって湾曲しながら右肩上がりで細粒化している事で, $\sigma\phi$ も湾曲しながら右肩下がりや淘汰を良くする事が常道と言うものだが。去年測量を怠ったので何とも言えないが, 推測で言うと, この測線が南西側へ約 200m 程移動したような気がする。すると辻褄が合う。北東から南西へ向かう沿岸流が粗粒成分の砂を多量に運んで来て Nearshore 付近に堆積となるが, その水の流れの上手側隣り中心部で発生した離岸流とのベクトルの合成による水の流れで, 山の頂点を中心に粗粒成分を運んで来て混合し, その後, 岸側へあるいは沖側へと拡散する事で, そのような傾向となる。2011 年 7 月 27 日においては, 岸から沖へ向かって“ひしゃく”のような形状で右肩下がりの傾向を示す。汀線より沖へ約 500m の地点付近 (水深 8.0m) で突如, 値が大きい。Md ϕ の値が岸から沖へ向かって階段状に右肩上がりで細粒化して行くなかで, 同地点の

値が突如小さくなり粗粒化した。上述により、同地点の $\sigma\phi$ の事象で納得がゆく。2012年7月24日においては、岸から沖へ向かって“N”の文字を裏返しにしたような型”で変化して行っている。Md ϕ の値を見ると、湾曲しながら右肩上がりで岸から沖へ向かって細粒化している。上述の事象から、汀線より沖へ約500mの地点付近（水深8.0m）の山の頂点は、2010年11月7日の汀線より沖へ約450mの地点付近の頂点と類似な動作が起った事で説明がつく。

弧状沿岸砂州中心部で2010年11月7日においては、岸から沖へ向かって値が小さくなって行く右肩下がり傾向を示す。Md ϕ の値が岸から沖へ向かって大きくなって行く右肩上がりの傾向である事から、 $\sigma\phi$ の傾向も常道と言える。但し、汀線より沖へ約250mの地点付近（水深6.0m）で、極端に値が小さく淘汰を良くしている。この地点はTroughの形跡が残る岸側の端で、また沿岸流が流れ行く方向の転換地点でもある。この事から、一時的に離岸流と合わせて強烈な分級作用を受けたものと思う。2011年7月27日においては、岸から沖へ向かって値が小さくなって行く大まかな右肩下がり傾向だ。Md ϕ で、汀線より沖へ約350m、470mの2地点付近の値が小さく、傾向から逸脱している事により、それら2地点の $\sigma\phi$ の値もやや傾向から外れている。2012年7月24日においては、岸から沖へ向かって大まかなところ右肩下がり淘汰を良くしている。汀線より沖へ約400mの地点付近で極端に値が大きく、淘汰を悪くした。

$\alpha\phi$ は、弧状沿岸砂州接合部で2010年11月7日、2011年7月27日、2012年7月24日においては、それぞれの測線の中央付近で負にシフトする丸が多い。汀線が一番近い水深3.0mあるいは4.0mの地点も同じように負にシフトしている。上述の地点以外のNearshoreあるいはOffshoreについては正にシフトする傾向がある。そもそも、歪度を理論的に言うなら、M ϕ の平均粒径がMd ϕ の中央粒径よりも粗粒側か、あるいは細粒側か、のどちらかに位置するかを調べているもので、その値はMd ϕ との距離を $\sigma\phi$ と比べた度合で表わす。実際には、累積曲線の16%と84%にそれぞれ対応する二つの ϕ 値の midpoint が M ϕ とし、Md ϕ と比較してどちらにシフトするか決まる。その意味で、16%に対応する ϕ 値よりも粗粒側に、84%に対応する ϕ 値よりも細粒側に、と、どちらかの“tail”がその反対側のそれよりも長い方へシフトする事になる。

弧状沿岸砂州中心部で2010年11月7日においては、汀線より沖へ約500mの地点を境に岸側の4丸が負、沖側の4丸が正にそれぞれシフトする。岸から沖へ向かって右肩上がりで変化している。2011年7月27日においては、2丸が負に、5丸が正に、とそれぞれシフ

トするが、1丸のみが0となる。2012年7月24日においては、4丸ずつ負、正と分け合ってシフトしている。

$\beta\phi$ は、弧状沿岸砂州接合部で2010年11月7日においては、汀線より沖へ約300mの地点より岸側の3丸は $\sigma\phi$ との関係を何も見出だせない。この地点より沖側の5丸は $\sigma\phi$ の値と1丸、1丸見比べた時に逆相関のようだ。2011年7月27日においては、大まかな傾向は見出だせないが、1丸、1丸精査して見比べた時、 $\sigma\phi$ と逆相関しているような気がする。2012年7月24日においては、汀線より沖へ約450mの地点より岸側の5丸は $\sigma\phi$ と何の関係も見出だせないが、この地点より沖側の3丸は $\sigma\phi$ と逆相関している。

弧状沿岸砂州中心部で2010年11月7日においては、汀線より沖へ約300mの地点より岸側の3丸は $\sigma\phi$ と逆相関を示す。この地点より沖側の5丸が1丸、1丸、 $\sigma\phi$ と見比べると逆相関しているようだ。2011年7月27日においては、汀線より沖へ約200mの地点より岸側の3丸は $\sigma\phi$ と逆相関の傾向を示す。この地点より沖側の5丸については、1丸、1丸、 $\sigma\phi$ と対比すると逆相関している事がわかる。2012年7月24日においては、汀線より沖へ約250mの地点付近より岸側の4丸は $\sigma\phi$ との関係を何も見出だせない。この地点より沖側の4丸は、1丸、1丸、 $\sigma\phi$ と対比した時に逆相関の気がする。

そもそも $\beta\phi$ の算出は、累積曲線上で5%と16%と、84%と95%のそれぞれ各々の%に対応する ϕ 値間の二つの和を、16%と84%の二つの%にそれぞれ対応する ϕ 値間（ $\sigma\phi$ の2倍）で割り算して決まる。

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

Md ϕ - $\sigma\phi$ において、弧状沿岸砂州接合部でMd ϕ が0.59~2.17 ϕ 間は、粗粒側から細粒側へ向かって右肩下がり徐々に淘汰を良くして行っている。Md ϕ が2.54~3.04 ϕ 間は上側の大変淘汰が悪いから下側の大変淘汰が良い、というような具合で縦列している。

弧状沿岸砂州中心部でMd ϕ が0.88~1.60 ϕ 間は粗粒側から細粒側へ向かって右肩下がり淘汰が良くなって行く。Md ϕ が1.87~2.37 ϕ 間は粗粒側から細粒側へ向かって右肩上がりで淘汰が悪くなって行っている。従って、Md ϕ が0.88~2.37 ϕ 間では“V字型”のような傾向で変化し、Md ϕ が2.64~3.15 ϕ 間は全体的に大変淘汰が良い。

Md ϕ - $\alpha\phi$ における弧状沿岸砂州接合部で、Md ϕ が0.59~2.17 ϕ 間は“V字型”で変化する傾向がある。3丸が負にシフトし、6丸が正にシフトする。また、1丸のみが0の値を維持する。Md ϕ が2.54~3.04 ϕ 間は正で値が大きい丸から負で値が小さい2丸まで縦列する。その縦列の負側へ延長線上で、それらの2丸から間隔をあけて、負で値が大きい6丸が固まって存在す

る。それら6丸の海底地形での位置はOffshore付近である。中心部のNearshore付近に多量の粗粒成分を含む砂(小礫等を含む)が沿岸流によって運ばれて来て堆積となるが、次に離岸流とのベクトルの合成により沿岸流の下手側隣りの接合部に分級作用を受けて移動する。この砂のうちの粗粒成分(小礫等を含む)が堅くしまった砂の斜面を浮力も手伝って“ころころ”と転がって行き、その地点(Offshore付近)に堆積し、混合しただろう。その粗粒成分(小礫等を含む)の微量分だけが累積曲線において、84%に対応する ϕ 値より細粒側に伸びる“tail”よりも、16%に対応する ϕ 値より粗粒側に伸びるそれが長い事で大きく負にシフトした。しかし、この測線が接合部なので、他の大部分が正にシフトしている。

弧状沿岸砂州中心部で、Md ϕ が0.88~2.25 ϕ 間は“V字型”のように変化している気がする。Md ϕ が2.37~3.15 ϕ 間は正で大きく、負でやや小さい値を要し、縦列している。いずれにしても、この測線は中心部のため、正側あるいは負側にそれぞれシフトするのは半半ずつのようだ。

(5) 構成正規分布集団の解析と漂砂源

Table 1とTable 2を見た時、2010年11月7日に測量の弧状沿岸砂州接合部および中心部の二つの測線が前年に測量がないなかで類推する限り、それぞれ南西側へ約200m程移動したように思える。しかし、比較するための前年の集団を構成する頻度がないため、参考として扱う。

2010年11月7日から2011年7月27日の間に弧状沿岸砂州接合部、中心部共に北東側へ約200m程移動した事が明瞭にわかる。ここで水深4.0m、6.0mの接合部における集団を構成する頻度を考察して見る。水深4.0mでは、一番目が中砂で、集団を構成する頻度を減じた。二番目が粗砂と入れ代わり、細砂が集団を構成する頻度を増加させた。水深6.0mでは、一番目が細砂で、集団を構成する頻度が増加した。二番目が中砂で、集団を構成する頻度を減じさせた。

一方、弧状沿岸砂州中心部では、水深4.0mの一番目が粗砂と入れ代わって中砂が集団を構成する頻度を大きく増加した。二番目が中砂と入れ代わって細砂が集団を構成する頻度を減じている。水深6.0mの一番目が粗砂、二番目が中砂と順番は同順だが、集団を構成する頻度をそれぞれ微少、減じたようだ。

上述の事象から、南西から北東へ向かう沿岸流がこの二つの測線をそれぞれ北東側へ約200m移動させた事から、細粒成分が優勢に堆積過程で、貢献する傾向にある。よって、この漂砂源は、(内山, 2010) (Fig. 14)と合わせて考察するに、この沿岸流の上手側で、うの浜、潟町、四ツ屋浜、土底浜付近のそれぞれ海浜の後

浜基部に形成の海岸砂丘ではないかと推測できる。

2011年7月27日から2012年7月24日の間に弧状沿岸砂州接合部が南西側へ約200m程移動したのに対し、中心部の移動がない。水深4.0m、6.0mの接合部における集団を構成する頻度を考察して見る。水深4.0mでは、中砂が一番目で少し頻度を増やし、二番目の粗砂が細砂と入れ代わって頻度を増やした。水深6.0mでは、頻度の一番目と二番目が入れ代わって、粗粒側の中砂が一番目となり、二番目に細砂となった。

一方、弧状沿岸砂州中心部では、水深4.0mの一番目が中砂、二番目が細砂と順番は変わらず、一番目の中砂の頻度が減じ、二番目の細砂の頻度が増加した。水深6.0mの一番目が粗砂で、二番目が中砂と順番は変わらないが、集団を構成する頻度が一番目の粗砂で増加、二番目の中砂で減少を示した。

上述の事象から、北東から南西へ向かう沿岸流が接合部を南西側へ約200m程動かしたにもかかわらず、中心部が静止していた事で、粗粒成分が優勢に堆積する傾向が伺える。よってこの漂砂源は、(内山, 2004)

(Fig. 24)と合わせて考察するに、この沿岸流の上手側の直海浜、柿崎付近で、海浜の後浜基部に形成の海岸砂丘ではないかと推測される。

以上、論述したように、上下浜の海岸は両方向からの沿岸流によって多量の砂が運ばれて来て堆積したために、海浜と海底間の砂・礫の収支のバランスがとれ、安定して来たように思える。漂砂源についても今回の調査で大体、的を射る事ができたのではないかと。また今年、四ツ屋浜、上下浜での調査を行なう事により、次回はもう少し確証のある論述に持って行きたいと考えている。それと共に、これらの地域の海底地形、海底底質について、今後も重大な心掛けを持って観察・調査を行なって行く必要があるのではないかと。

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 - 棧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) : 棧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

- 関係一, 京都大学防災研究所年報, 第 46 号 B, pp. 637
-649.
- 内山 清 (2004): 大潟海岸・上下浜における海底地
形と海底底質の粒度組成—海底地形の変形と海底底
質の粒度組成の岸沖方向変異—, 京都大学防災研究
所年報, 第 47 号 B, pp. 641-663.
- 内山 清 (2005): 観測栈橋近傍の海底地形と海底底
質の粒度組成の変化, 京都大学防災研究所年報, 第
48 号 B, pp. 775-792.
- 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—海底地形の変形と海底底質の粒度組
成の岸沖方向変異—, 京都大学防災研究所年報, 第
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—主にビーチカスプにおいて—,
京都大学防災研究所年報, 第 55 号 B, pp. 351-379.
- 大森晶衛・星野通平・茂木昭夫 (1970): 浅海地質学,
東海大出版会.
- 早津賢二・新井房夫・白井 亨 (1982): 新潟県高田
平野の中位段丘と古砂丘—形成時代についての火山
灰編年学的考察—, 地学雑誌, pp. 1-16.

(論文受理日: 2016 年 6 月 13 日)