

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 ——

内山 清

要旨

大潟海岸の中央部に位置している、京大観測用栈橋を用いて、ひと月に一回測深と海底底質採取を行っている。また、上下浜で2001年8月6日に測深と海底底質採取を行った。そのうち夏期及び冬期以外で、両地点の海底地形の変化と海底底質の粒度組成の岸沖方向変異を考察するとともに、両地点のそれぞれの差異も考察した。また、海底底質と新砂丘砂の相関関係も検討した。

キーワード：弧状沿岸砂州 (Fig. 1), 近似計算, 新砂丘砂, トラフ, パー, ニアショア

1. 緒言

大潟海岸は上越市郷津から柏崎市米山に至る全長約2.7kmの砂礫海岸である。大潟波浪観測所の観測栈橋は、この海岸線のほぼ中央部に位置し、近年直江津港防波堤の延伸によって自然の節理を逸脱したかんがある。唯一自然の節理に従っているのが、観測栈橋より北東へ約2.5km行った柿崎町上下浜海岸である。また、大潟海岸の後背地を形成している一列の砂丘地があり、潟町砂丘と呼ばれている。潟町砂丘は大きく二層からなっている。この潟町砂丘の砂丘砂との相関関係をふまえながら、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における差異を検討する。(Fig. 2)

2. 栈橋に沿った海底断面形と上下浜海岸での海底断面形

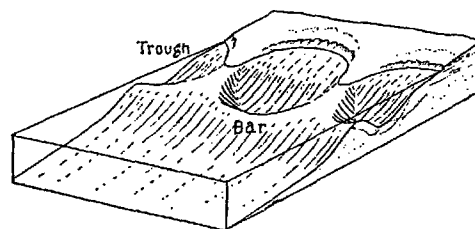


Fig. 1 A model graph of a crescent-shaped bar.

両者を比較するにあたり、上下浜海岸では船による測深、砂礫採取のため、夏期に観測したデータを用いる。また、栈橋に沿ったそれも夏期のものを用いる。

2001年8月6日 (Fig. 3) (栈橋より沖は、船で測深) と2001年8月16日の栈橋に沿った海底断面図において (Fig. 4), 典型的な Bar 型断面形状である。汀線

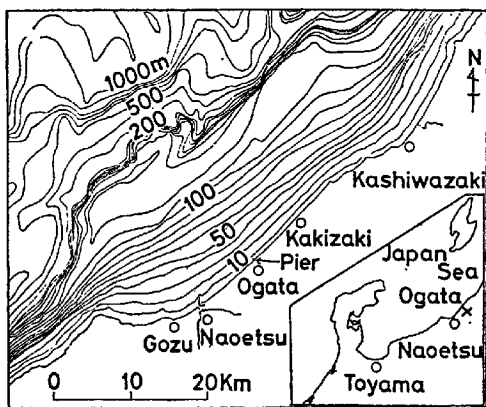


Fig. 2 Bottom topography of Ogata's coast.

～汀線より沖 75m地点まで急激に水深を増し、この地点～汀線より沖 175m地点までなだらかに沖へ傾斜していて、Trough がある。この地点の水深が 7.0 mである。ここから沖へ水深を減じ、汀線より沖 245 m付近で弧状沿岸砂州中心分の Bar がある。Trough と Bar の比高が 2.0mである。次に、2000 年 9 月 18 日の栈橋に沿った海底断面図(Fig. 4)において、これは Step 型断面形状である。汀線から沖へ急激に水深を増し、汀線から沖 90m付近で Trough があり、この水深が 5.6mである。この地点から沖へ水深を減じ、汀線より沖 135m付近で、弧状沿岸砂州接合部における Bar がある。この地点より沖へ水深を増して行く事になるだろう。上述の両方の断面形において、Trough と Bar の比高が 2.0mである。

一方、m2001 年 8 月 6 日測深で、上下浜海岸の海底断面図(Fig. 5)において、温泉下の基点から西へ 50 mの地点は、Bar 型断面形状を示し、西へ 200mの地点は Step 型断面形状を示す。Bar 型断面形状では、汀線から沖へ序々に水深を増し、汀線より沖 100m地点～汀線より沖 270m地点まで少しのふくらみがみられ、砂の堆積があったように伺える。汀線より沖 270m地点が Trough で、水深が 6.5mを示す。この地点より沖へ水深を減じ、汀線より沖 380m地点で、弧状沿岸砂州中心部での Bar となる。この地点より沖へ水深を増している。Trough と Bar の比高は、1.5 mである。また、Step 型断面形状では、汀線から沖へ急激に水深を増し、汀線より沖 110m地点で Trough

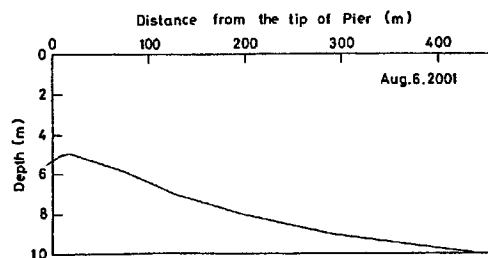


Fig. 3 Bottom profile from the tip of the Pier to the offshore

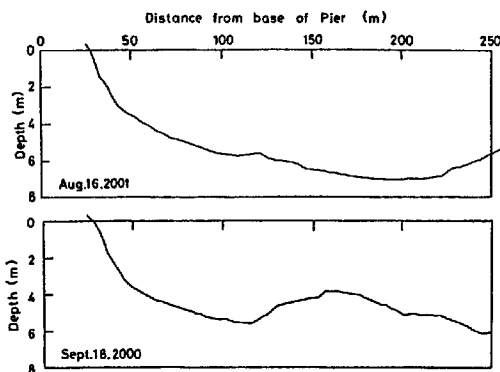


Fig. 4 Bottom profiles along the Pier, on Aug. 16, 2001 and Sept. 18, 2000.

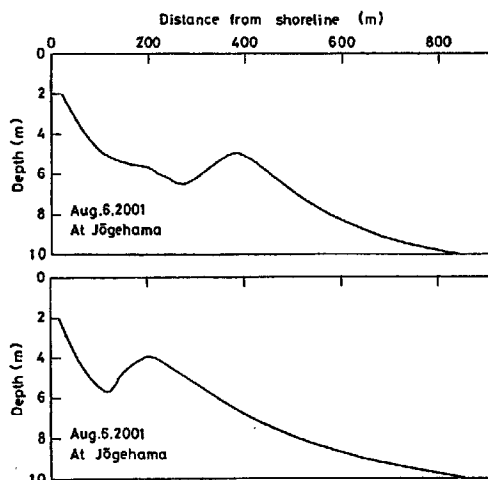


Fig. 5 Bottom profiles from shoreline to offshore at Jōgehamma, on Aug. 6, 2001.

があり、この水深が 5.7mである。この地点から沖へ水深を減じ、汀線より沖 200m付近で弧状沿岸砂州接合部における Bar がある。この地点から沖へ水深を増している。Trough と Bar の比高は 1.7mである。

栈橋に沿った海底断面形と上下浜海岸の海底断面形を比較したとき、前者は、岸沖方向への絶大なバランスのない状態を呈しているようだ。このため、急激に形状を変化させている。海浜において、前浜と後浜の間に波消しブロックが置かれて、冬期に大きな波が激突し、反射することにより、海底に沖向きのベクトルの大きな水の流れを生じていることが、比高の大きいことに起因していると考えられる。一方後者は、自然の節理にのっとり、バランスのとれた、岸沖両方向への水の流れとなっているのであろうと推測する。また、海浜地形との相関関係をみたとき、大カスプの湾入部が弧状沿岸砂州の中心部に、突出部が弧状沿岸砂州の接合部におおの対応して、バランスを保って、リズムに動いている。

3. 観測栈橋に沿った海底底質と上下浜海岸における海底底質の粒度組成の比較

(岸沖方向変異の比較)

3. 1 海底底質採取と粒度分析

栈橋に沿って約10m間隔で、缶詰の空き缶を利用して海底底質採取を行っている。今回は、Bar型断面形状を示す、2001年8月16日に採取した底質試料を使う。この状態での栈橋より沖の海底底質は、2001年8月6日に船で採取した底質試料を使うことにする。また、Step型断面形状を示す、2000年9月18日に採取した底質試料を使う。この両形状における海底底質の比較は、上下浜で、2001年8月6日に船により採取した底質試料を使う。採取した底質試料は乾燥し、均質に処理して、1/4φ間隔で標準ふるいを用いて粒度分析を行った。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 近似計算によるパラメータ ($Md\phi$ 、 $\sigma\phi$ 、 $\alpha\phi$ 、 $\beta\phi$) での差異

(1) 中央粒径 $Md\phi$

Bar型断面形状において、栈橋に沿った海底底質は (Fig. 6)、汀線～汀線より沖75m地点間は、 -1.5

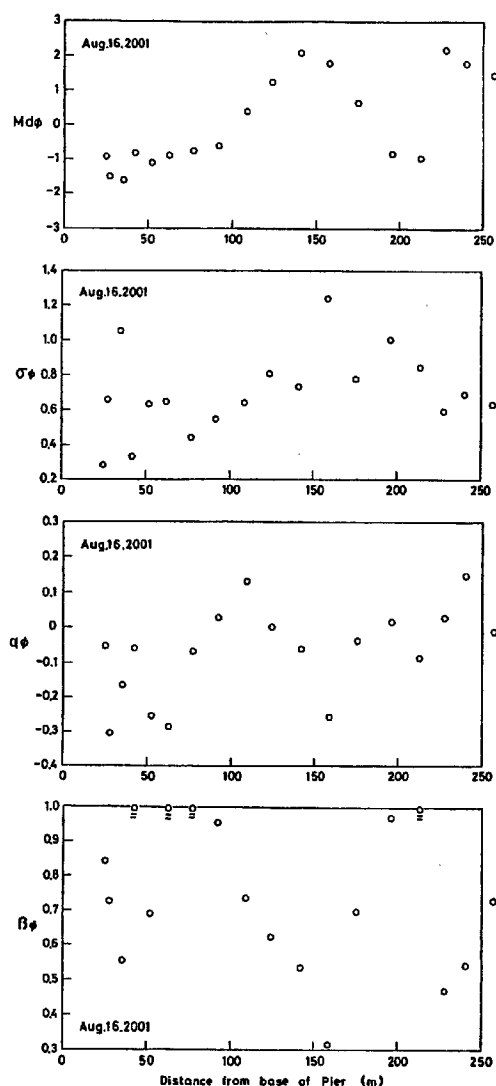


Fig. 6 Seaward distribution of grain size characteristics of the sediment of the sea bottom along the Pier.

～ -0.5ϕ の値を示し、極粗砂・小礫で組成している。汀線より沖75m地点～175m地点間の Nearshore では $0 \sim 2.0\phi$ の値で、粗砂・中砂の組成である。これは内陸部に形成する新砂丘砂の粒度組成と類似する。このことから、海浜の後浜の後背地に形成する新砂丘砂が冬期の大きな波浪によって侵食され、流出し、前浜に滞留し、後汀線付近に流出する。このあと、分級作用を受けながら沖へと移動して、Nearshore に堆積したのであろう。つまり、この粒径の砂は移動しやすく、堆積しやすい粒径の砂であることがわかる。汀線より沖175m地点の Trough では、 -1.0

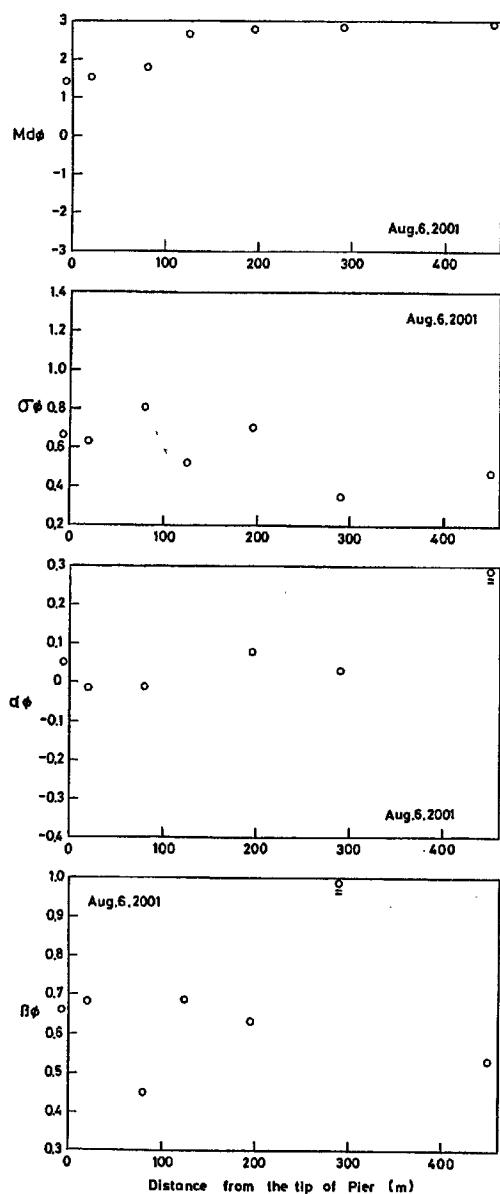


Fig. 7 Seaward distribution from the tip of the Pier to offshore, of grain size characteristics of the sediment of the sea bottom.

～0.5 ϕ の値の極粗砂・粗砂で組成しているが、実際には40%位が礫である (Fig. 11)。弧状沿岸砂州頂部、岸側斜面、沖側斜面では、1.0～2.0 ϕ の値を示し、中砂である。この位置から沖側の Offshore では、2.0～3.0 ϕ の細砂で組成している (Fig. 7)。一方、上下浜海岸の海底底質は、汀線付近～Nearshore 間で1.0～0 ϕ の値を示し、極粗砂で組成している。Troughで0.5 ϕ 前後の値を示し、粗砂で組成している。弧状

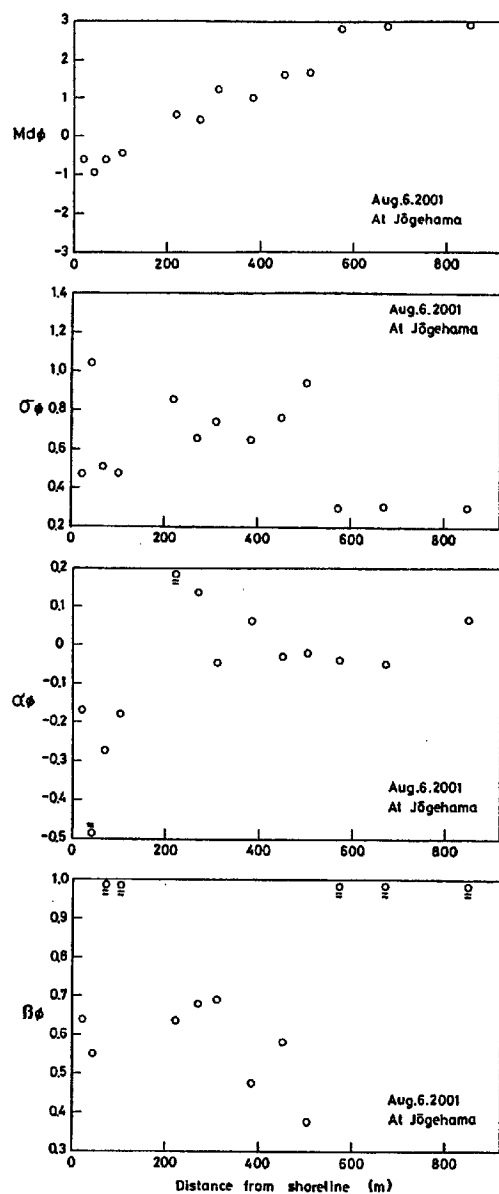


Fig. 8 Seaward distribution of grain size characteristics of the sediment of the sea bottom, from shoreline to offshore.

沿岸砂州頂部、岸側斜面、沖側斜面では1.0～2.0 ϕ の値で、中砂で組成する。汀線より沖560m地点～沖側の Offshore では、2.5～3.0 ϕ の値で、細砂で組成している (Fig. 8)。また、両者の Bar における $Md\phi$ は1.0 ϕ 、1.5 ϕ でともに新砂丘砂の粒度組成に類似している (Fig. 28)。

Step 型断面形状において、棧橋に沿った海底底質は、汀線～汀線より沖85m間で-2.0～-0.5 ϕ の値

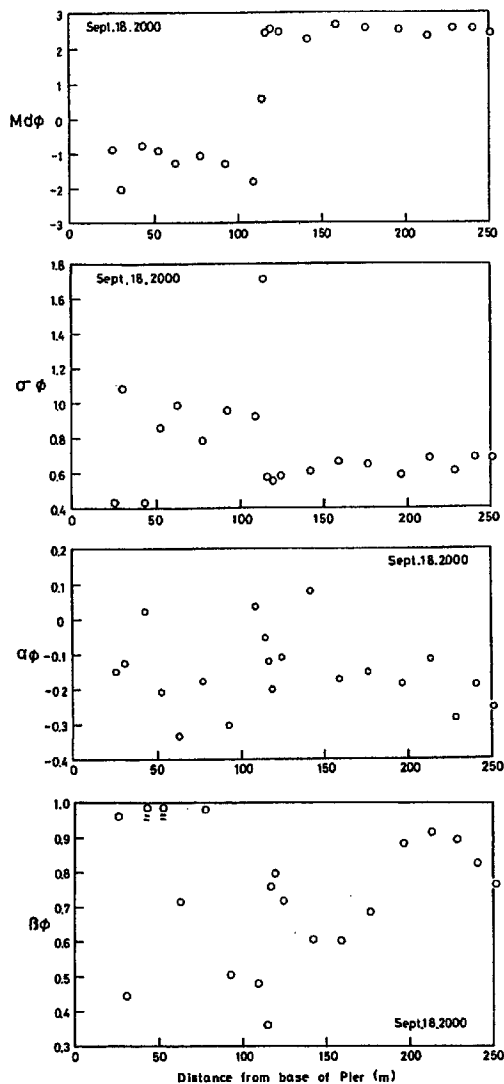


Fig. 9 Seaward distributions of grain size characteristics of the sediment of the sea bottom along the Pier.

であり、小礫・極粗砂で組成する。Trough では、礫が 80%以上しめる (Fig. 9, 12)。Trough より沖は、 $2.0 \sim 3.0 \phi$ の値で、細砂で組成する。一方、上下浜海岸の海底底質 (Fig. 10) は、汀線～汀線より沖 120 m 地点間で、汀線を除いて $-1.0 \sim -0.5 \phi$ の値で、極粗砂である。特に Trough においては、礫が 30%位しめる。この礫の中で、 -3.0ϕ の中礫が 24%位占める (Fig. 13)。弧状沿岸砂州接合部における、頂部、岸側斜面、沖側斜面で、 $1.5 \sim 2.0 \phi$ の中砂を組成する。この地点より沖の Offshore で、 $2.5 \sim 3.0 \phi$ の細

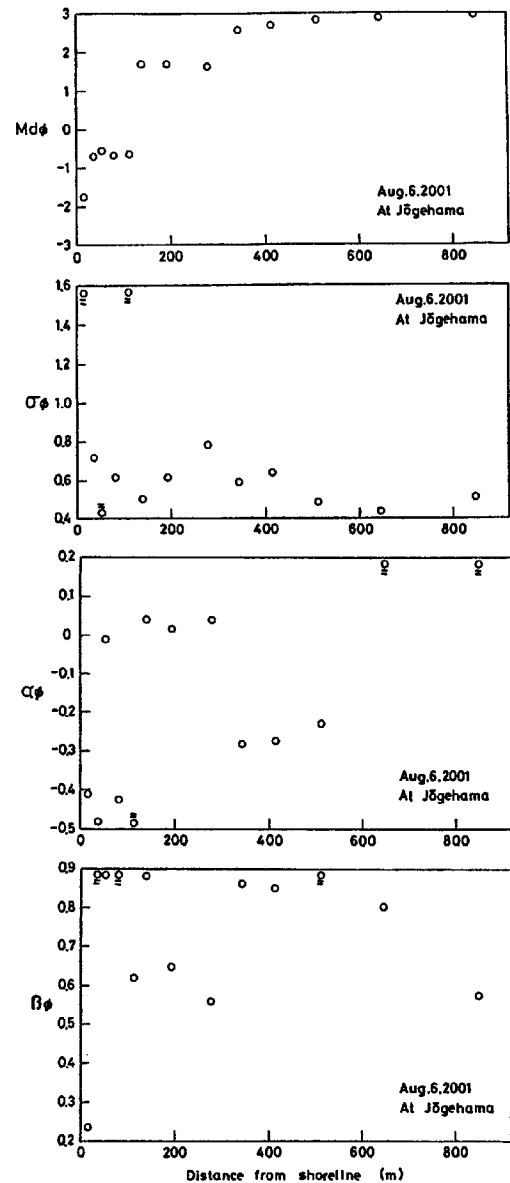


Fig. 10 Seaward distributions of grain size characteristics of the sediment of the sea bottom, from shoreline to offshore.

砂で組成する。上述からわかるように、棧橋に沿った海底底質の粒度組成は、変則的、極端な変異を示すのに対して、自然な海岸を保っている上下浜海岸の海底底質は、汀線から沖に向かって、なだらかに細粒側へと変異している。

(2) 標準偏差 $\sigma \phi$

Bar 型断面形状において、棧橋に沿った海底底質は、

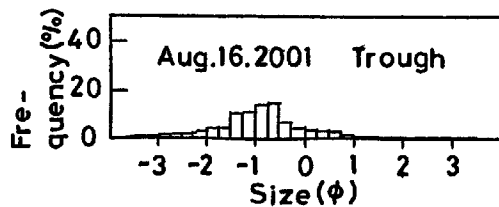


Fig. 11 At trough

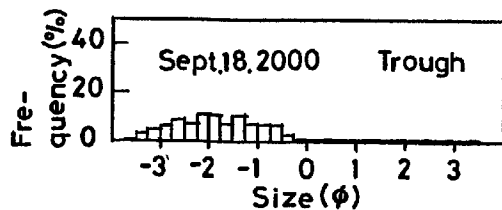


Fig. 12 At trough

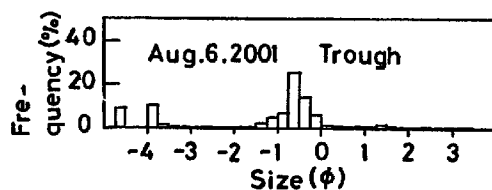


Fig. 13 At trough

Fig. 11, 12, 13 Three examples of grain size distributions of the sediment of the sea bottom.

汀線より沖50m地点で極小値を示し、汀線より沖135m地点で極大値を示す。この地点から沖に向かって値が漸減している (Fig. 6)。一方、上下浜海岸の海底底質は、汀線付近と弧状沿岸砂州沖側斜面の1点ずつ1.0付近の値で、極大値を示す。Bar地点である程度値が小さく、分級作用を受けて堆積した事がわかる。水深8m以深では、値が最も小さく、安定した値で、移動限界水深であろう (Fig. 8)。

Step型断面形状において、栈橋に沿った海底底質は、Troughの地点で値が非常に高く、極大値を示す。この他は、汀線から沖へ向かって値が小さくなっている。特にTroughより沖は値が小さく、安定している (Fig. 9)。一方、上下浜海岸の海底底質は、汀線付近とTroughの地点で値が非常に高く、極大値を示

し、沖へ行くにつれて値が漸減している (Fig. 10)。

(3) 歪度 $\alpha\phi$

Bar型断面形状において、栈橋に沿った海底底質は、Trough付近と汀線～汀線より沖55m地点間は負にシフトして、これ以外の地点は正にシフトしている (Fig. 6)。一方、上下浜海岸の海底底質は、細粒側にシフトしているのが少なく、粗粒側に大部分がシフトしている (Fig. 8)。

Step型断面形状において、栈橋に沿った海底底質は、大部分が負にシフトしている (Fig. 9)。一方、上下浜海岸の海底底質は、弧状沿岸砂州接合部における頂部、岸側斜面、沖側斜面では正にシフトしており、それ以外は負にシフトしている (Fig. 10)。

(4) 尖度 $\beta\phi$

Bar型断面形状において、栈橋に沿った海底底質は、Nearshoreの3地点、Troughの1地点、Offshoreの1地点が異常に大きな値の変動で推移している (Fig. 6, 7)。一方、上下浜海岸の海底底質は、Nearshoreの2地点とOffshoreの3地点が大きな値をとり、その他は値が小さい (Fig. 8)。

Step型断面形状において、栈橋に沿った海底底質は、Nearshoreの2地点で非常に大きな値をとり、これら以外は、汀線から沖へ向かって序々に値が大きくなる傾向がある (Fig. 9)。一方、上下浜海岸の海底底質は、汀線付近の3地点とOffshoreの1地点が非常に高い値をとり、他の地点も高めの値をとりながら推移している (Fig. 10)。

4. 構成正規分布集団による解析

一般に、流体の作用のもとで堆積した細粒な岩屑の多くは、粒径の対数値に対する重量頻度がしばしば正規分布か、またはそれに近い分布をすることが経験的に知られている。しかし、実際には多くの堆積物は正規確率紙に粒径分布を描いた場合に、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

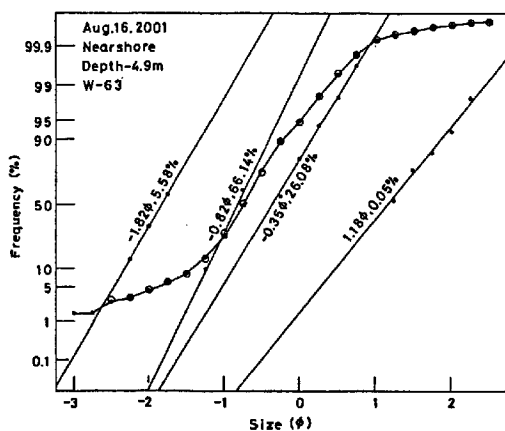


Fig. 14 At nearshore

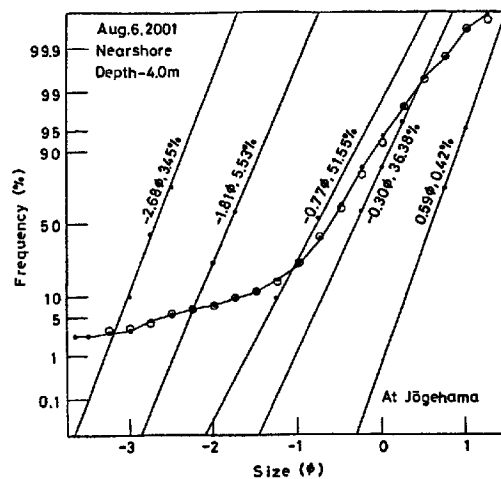


Fig. 17 At nearshore

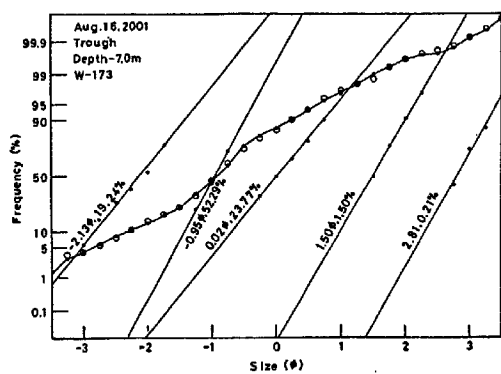


Fig. 15 At trough

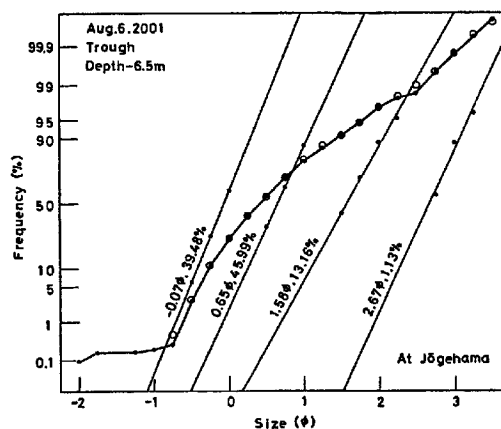


Fig. 18 At trough

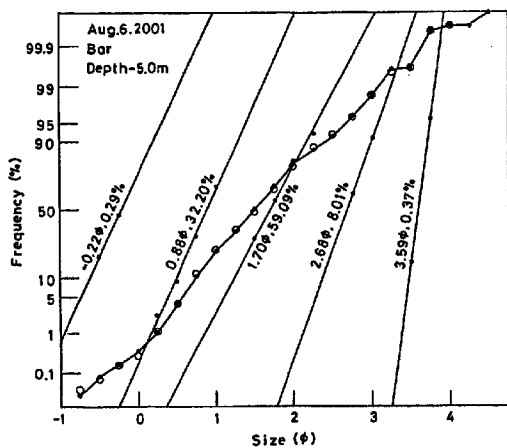


Fig. 16 At bar

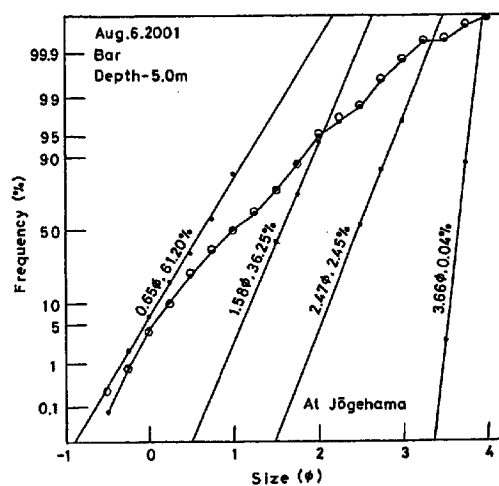


Fig. 19 At bar

かの正規分布集団の合成からなっている。いくつかの図で、黒点は累積頻度を示す点、白丸は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たものである。

弧状沿岸砂州中心部において、冬期に岸から沖へ

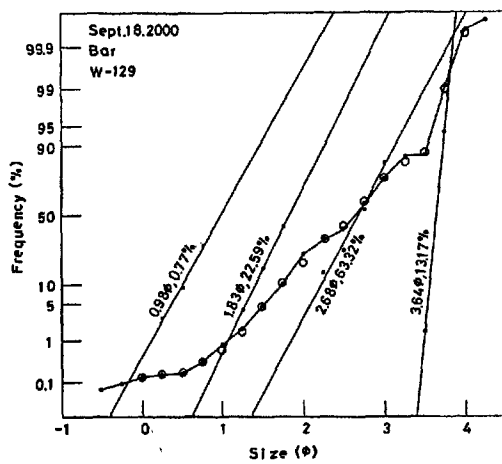


Fig. 20 At bar

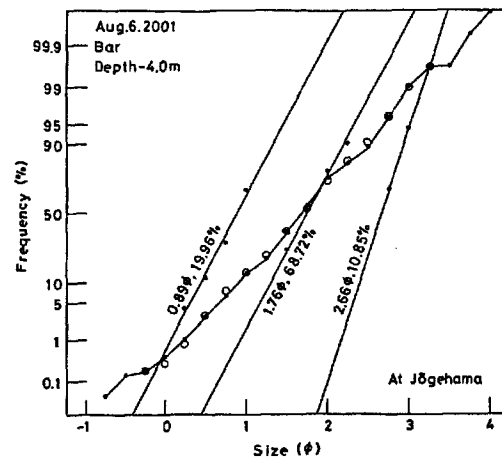


Fig. 23 At bar

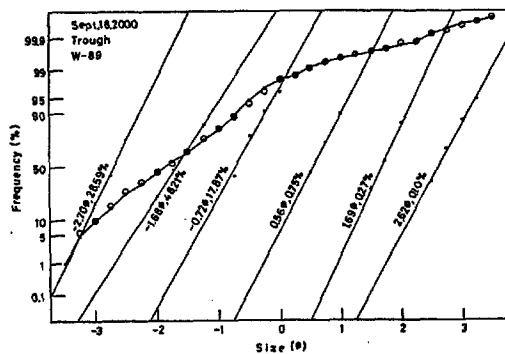


Fig. 21 At trough

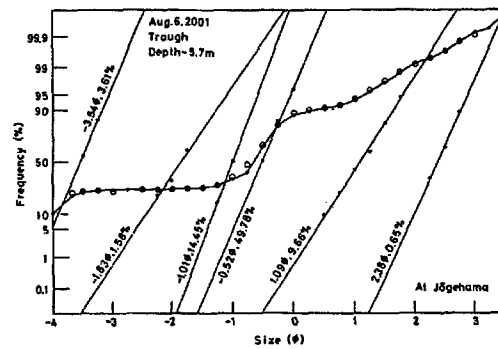


Fig. 24 At trough

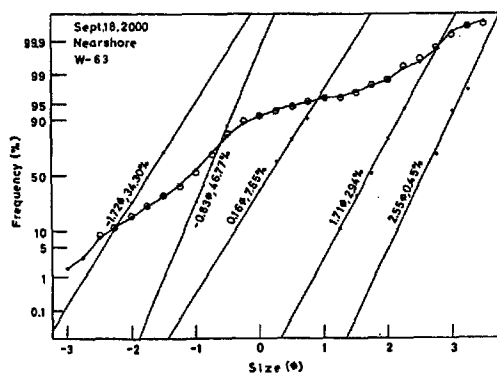


Fig. 22 At nearshore

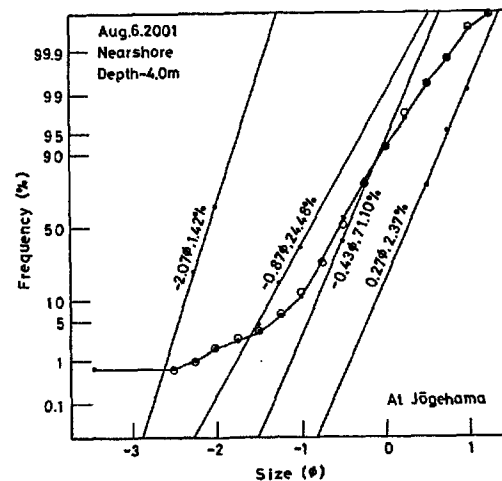


Fig. 25 At nearshore

の水の流れが卓越している中で、分級作用を受けて、各所に堆積したものといえよう。まず、桟橋に沿った海底底質で、Nearshoreでは、 $Md \phi$ が -0.82ϕ の砂が66%、 -0.35ϕ の砂が26%で構成する。Troughでは、 $Md \phi$ が -0.95ϕ の砂が52%、 0.02ϕ の砂が24%

で構成し、Barでは、 $Md \phi$ が 0.88ϕ の砂が32%、 1.70ϕ の砂が59%で構成している (Fig. 14, 15, 16)。一方、上下浜海岸の海底底質で、Nearshoreでは、 $Md \phi$ が

Fig. 14~Fig. 25 Cumulative probability curve
and constituent subpopulations derived
by partitioning from the curve. Circles
are the cumulative plots constructed
from the partitioned constituent
subpopulations.

-0.77 ϕ の砂が 52%, -0.30 ϕ の砂が 36% で構成する。

Trough では, Md ϕ が -0.07 ϕ の砂が 39%, 0.65 ϕ の砂が 46% で構成し, Bar では, Md ϕ が 0.65 ϕ の砂が 61%, 1.58 ϕ の砂が 36% で構成している (Fig. 17, 18, 19)。

ここで両者を比較すると, Nearshore において, Md ϕ が -1.0 ~ 0 ϕ の極粗砂が両者共 80~90% を構成していて, 後者の方に小礫・中礫が少量含まれている。前者の Nearshore には, 中礫がなく, 中礫は Trough に堆積している。つまり, 岸から沖への水の流れのベクトルが大きいことにより, 汀線付近の小礫・中礫が, Nearshore に堆積している多量の極粗砂の上を転がり, とびこえて Trough に堆積したのではないだろうか。後者の Trough には礫が全くなく, 砂のみの堆積となる。これは, 岸から沖への水の流れのベクトルが小さいため, Nearshore に砂礫が堆積して, 分級作用をうけた砂のみが Trough に堆積となる。次に, Bar をみると, Md ϕ が 0.5 ~ 0.8 ϕ , 1.5 ~ 1.8 ϕ の粗砂, 中砂が両者とも 70~80% を構成しているため, これは明らかに砂丘砂の組成と類似するのである。つまり, 海浜の後浜の後背地に形成されている新砂丘砂は, 粒径分布を描くと二峰分布 (Fig. 28) をすることである。前者は細粒側の砂が多く組成し, 後者は粗粒側の砂を多く組成している。これは, 前者の場合, 新砂丘砂の上層部の細粒な砂が冬期の季節風による大きな波で侵食されて崩れ落ちて, この砂が海に流出し, 分級作用をうけて Bar に堆積したものと思われる。これは, 海岸侵食がかなり進んでいる状態である。後者の場合, 新砂丘砂の下層部の粗粒な砂が海に流出して, 分級作用をう

けて Bar に堆積したものであり, 海岸侵食が進んでいない状態である。

弧状沿岸砂州接合部においては, 夏期および冬期以外の期間に, 北からの風がかなり多くの頻度で吹く。これによって北からの波の発生とともに, 海底では北から, あるいは, 沖から岸への水の流れが生じる。また, 北東から南西へ向かって, かなり大きなベクトルをもった沿岸流が生じるのではないかと。まず, 栈橋に沿った海底底質で, Bar では, Md ϕ が 1.83 ϕ の砂が 23%, 2.68 ϕ の砂が 63% で構成する。Trough では, Md ϕ が -2.7 ϕ の礫が 29%, -1.68 ϕ の礫が 48% で構成し, Nearshore では, Md ϕ が -1.72 ϕ の礫が 34%, -0.83 ϕ の砂が 47% で構成する (Fig. 20, 21, 22)。一方, 上下浜海岸の海底底質で, Bar では, Md ϕ が 0.89 ϕ の砂が 20%, 1.76 ϕ の砂が 69% で構成する。Trough では, Md ϕ が -1.01 ϕ の礫が 14%, -0.52 ϕ の砂が 50% で構成し, Nearshore では, Md ϕ が -0.87 ϕ の砂が 24%, -0.43 ϕ の砂が 71% で構成する (Fig. 23, 24, 25)。ここで両者を比較すると, Bar において, 前者では, Md ϕ が 1.0 ~ 2.0 ϕ , 2.0 ~ 3.0 ϕ の中砂, 細砂が 90% を構成している。細砂は Offshore に堆積の砂であるため, 故に沖から岸への相当大きなベクトルを要する水の流れがあったものと思われる。なぜなら, 細砂は“しまった”状態で堆積しているので, それが分級作用をうけて, “せり上がる”ようにして体積したからである。後者で, 粗砂が 20%, 中砂が 69%, 細砂が 11% で構成している (Fig. 23)。粗砂・中砂の構成は新砂丘砂で, 二峰分布砂 (Fig. 28) の組成であるため, 以前冬期に岸から運ばれて堆積して残ったものである。細砂の 11% の構成は, 沖から岸への水の流れのベクトルが小さかった事をものがたっている。次に Trough において, 前者で, 中礫が 29%, 小礫が 48% で構成している (Fig. 21)。これらの礫は, 夏期及び冬期以外に北東からの沿岸流によって運ばれ, 転がり上がるようにして堆積したのではないかと。また, 後者では, 中礫が 4%, 小礫が 2% で構成している (Fig. 24)。これら少量の礫も前者と同様の堆積方法であろう。つまり, 前者の方が北東から南西へ向

かう沿岸流のベクトルが相当大きいことをものごとがたっている。Nearshoreにおいて前者で、小礫が34%、極粗砂が47%で構成している (Fig. 22)。後者では、中礫が1%、極粗砂が95%で構成している (Fig. 25)。沖から岸への水の流れ、あるいは北東から南西への沿岸流によって運ばれ、堆積したのではないか。

5. 砂丘砂

前述したように、大潟海岸の後背地に形成されている潟町砂丘は、直江津から柿崎に至る日本海沿岸に沿って、約20 kmに渡って発達している。潟町付近で最も発達がよく、そこでは、標高約40 m、幅2.5~3.0 kmである。潟町砂丘を構成する地層を、上位のものから新期砂丘砂層 (新砂丘砂)・黒色腐植土層・褐色粘土層・古砂丘と4層に分けられている (Fig. 26)。この4層のうちの最上位の新砂丘砂 (Fig. 27, 28) が密接に関与していることがわかる。この地層の成因は、冬期に到来するきびしい季節風が、汀線の後退した海岸から砂・礫を運んで、堆積したものと言われている。また、この成因の時期は、縄文前期~鎌倉時代以後ではないかと言われている。この砂が風によって運ばれ、堆積していることから、海岸線近くは地層が厚く、粗粒な傾向がある。一方、内陸部では地層が薄く、細粒な傾向を呈す。

6. 結語

自然な節理に従って動く上下浜海岸とこれを逸脱してしまった観測用棧橋近傍の海岸の両地点における、海底地形、海底底質の調査・研究を行った。これにより、両地点における海底地形しかり、海底底質の粒度組成で、各々の差異があるものだという重要な知見を得ることができた。

(1) 海底断面形状の比較で、TroughとBarの比高が、棧橋に沿った海底断面形の方がわずかながら大きい。これは、岸沖両方向の水の流れのベクトルが大きいことをものごとがたっている。

(2) 弧状沿岸砂州中心部で、両地点のBarには、

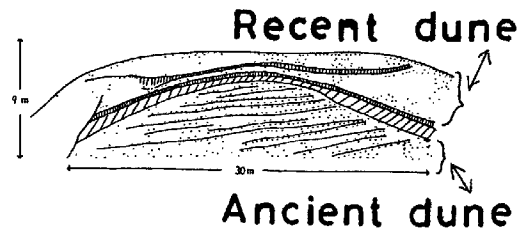


Fig. 26 An open-air steep which consists of the dune sand.

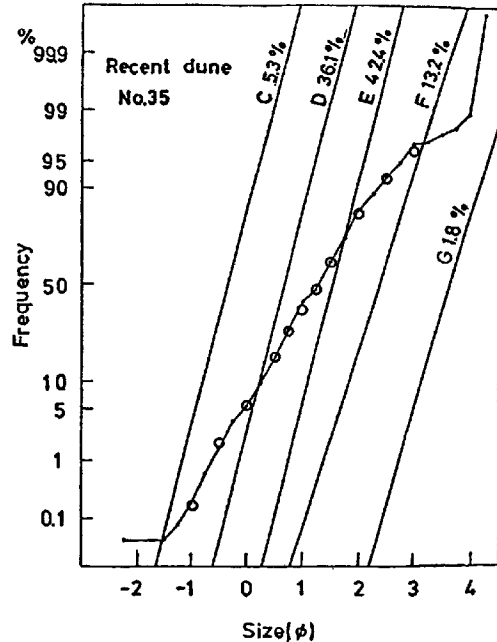


Fig. 27 Cumulative probability curve and constituent subpopulations derived by partitioning from the curve. Circles are the cumulative plots constructed from the partitioned constituent subpopulations, at recent dune.

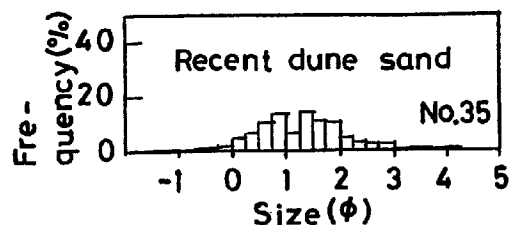


Fig. 28 An example of grain size distribution of the recent dune sand.

新砂丘砂の粒度組成を示す砂が堆積している。棧橋

に沿った海底底質で、Bar には、新砂丘砂の粒度組成の細粒成分を示す砂が堆積している。一方、上下浜海岸の海底底質で Bar には、新砂丘砂の粒度組成の粗粒成分を示す砂が堆積している。

(3) 弧状沿岸砂州接合部で、両地点の Bar には、Offshore に堆積している細砂が多量に堆積しており、沖から岸への水の流れの大きなベクトルがはたらいていることがわかる。

(4) 棧橋に沿った海底底質において、弧状沿岸砂州中心部の Trough の多量の礫は、冬期の岸から沖への水の流れのベクトルが大きいことにより、汀線付近の礫が転がり下り、Nearshore の砂の堆積部分を飛び越えて Trough に堆積したのが残っているようだ。弧状沿岸砂州接合部の Trough の多量の礫は、北からの水の流れと、北東から南西への沿岸流のベクトルの大きいことにより、汀線付近の礫が転がり上がるようにして堆積したのであろう。

(5) 上下浜海岸の海底底質において、弧状沿岸砂州中心部の Trough では、ほとんど礫はなく、岸から沖への水の流れのベクトルが小さかったようだ。弧状沿岸砂州接合部の Trough では、少量の礫があり、上述のように転がり上がるようにして堆積したのではないか。

参考文献

- 内山 清 (2000) : 海浜 (前浜) におけるカスプの波長と海浜 (前浜) 底質の粒度組成および海底底質の粒度組成, 技術 (研究) 発表報告集 VII, p p. 14-18.
- 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, p p. 361-374.
- 大森晶衛・星野通平・茂木昭夫 (1970) : 浅海地質学, 東海大出版会.
- 白井 亨 (1995) : 大潟海岸の堆積過程, 京都大学防災研究所年報, 第 38 号 B-2, p p. 619-643
- 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

山灰編年学的考察一, 地学雑誌 91.1, p p. 1-16.

**The grain size composition of both the sediment of the sea bottom
along the Pier , and the sediment of the sea bottom at Jōgehama**

**—The difference between the grain size
composition of the two places—**

Kiyoshi UCHIYAMA

Synopsis

The Observational Pier which is located at the center of Ogata 's coast, belongs to Kyoto University. This author is carrying out sounding using the Pier, to gather sediment from the sea bottom, once a month. Also, this author has carried out sounding and the gathering of sediment off of the sea bottom at Jōgehama, on Aug.6.2001. In doing this, this author has considered the changes in the sea bottom profile, and variation from the shore to the offshore, in the grain size composition of the sediment of the sea bottom. This author has considered the differences between the two places. This author has considered the samples which were observed every year from spring to the fall season, too. Further, this author has examined the correlation between the sediment of the sea bottom and samples from recent dune sand.

Keywords: a crescent—shaped bar, a rough calculation, recent dune sand, trough, bar, nearshore