

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—

内山 清

要 旨

砂・礫海岸である大潟海岸の中央部より、3 km 程、北東寄りの上下浜で海浜の調査を行った。2009 年 10 月 30 日と 2010 年 10 月 8 日の 2 回、海浜の前浜に形成されるビーチカスプのうちの小カスプにおいて、断面を得るために地形測量を行う、とともに、極高点と極低点というように、交互に、数十個の底質を採取した。形成状態の変異差を調べるために、大カスプの突出部と湾入部で、それぞれ、それらの行為を行った。また、2010 年 10 月 8 日に、大カスプの突出部と湾入部において、汀線から小カスプの極高点、あるいは極低点を通して、後浜、あるいは前浜のみ（湾入部）、まで、地形測量と 5 m 間隔の底質採取をそれぞれ行った。これらを分析、解析して、熟考する事こそが、海岸侵食の原因解明に至る糸口となるのではないかと考える。

キーワード：大カスプ、小カスプ、突出部、湾入部、極高点、極低点

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 27 km のほぼ直線状の砂・礫海岸である。大潟波浪観測所は大潟区四ツ屋浜に立地していて、潟町砂丘が一番発達している場所でもある。また、この海岸は、大潟海岸のほぼ中央に位置している。直江津港防波堤の延伸工事が竣工した今、徐々に北東側へ海岸侵食が進み、うの浜付近までは海浜が消滅してしまった。そのうえ、これより北東側へ約 1.7 km に位置する上下浜の海岸でも、相当に進行している事がうけてとれる。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する事から鑑み、ミクロからマクロへと考察し、熟考する事こそが、新しく、重要な知見を得る方法である。この意味において、今回は、9 月から 11 月頃までにしか海浜に形成する事のない、上下浜でのビーチカスプの調査を行った事で得た、海浜地形特性と海浜底質の粒度組成をしっかりと考察・熟考する事だ。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。

2. ビーチカスプの地形

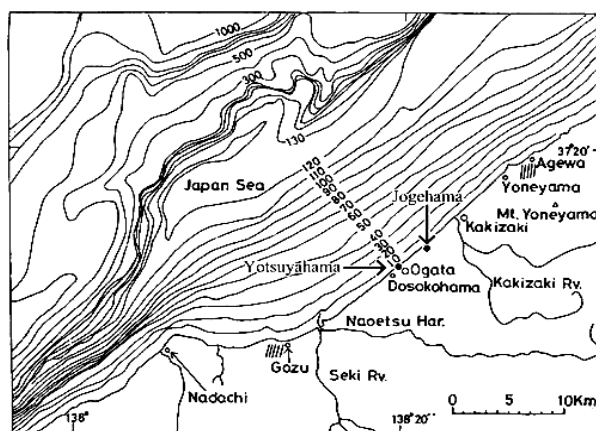


Fig.1 Positional topography of Ogata Coast.

ビーチカスプには、大カスプと小カスプの二種類がある。いずれも、リンクしているすべてのファクターにおいて、自然のバランスがとれているが故に、形成されるものである。大カスプは、“汀線の出入り”として観測され、それぞれ突出部、湾入部と定義される。このような現象を示す海岸を波状海岸と言う。

小カスプは、波が汀線で碎波し、溯上する、これらの諸条件により、汀線から後浜の方向へ一定の距離の地点を、汀線に沿って、山と谷が交互に、一列に形成される。ここで、山の頂点を極高点、谷を極低点と

それぞれ命名する。(Fig. 6, 7, 8, 9) の断面図に示すように、もし、夕焼けに染まった海を背景にして、後浜を背に、その整列を見た時には、ちょうど、ドローネの曲線を思わせるような陰影である。また、芸術的でもあり、リズム的な軽快な感じさえる。

2.1 大カスプ

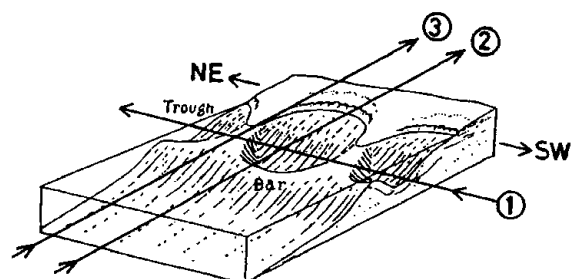


Fig.2 The measuring lines and the model graph, on the crescent-shaped bar.

(Fig. 2) は、上下浜の海岸で深浅測量を行う際、①、②、③が測量の順番を示している。また、同時に、弧状沿岸砂州の模式図でもある。この図のように、大カスプの突出部は弧状沿岸砂州の接合部に、湾入部は弧状沿岸砂州の中心部にそれぞれ対応し、対をなして移動するものと考えられる。

(1) 前回と今回の地形上での差異

大カスプの地形上での差異を考察する場合、上述のごとく、(Fig. 2) の①での測量による海底地形図からの判断が自然である。この事により、まず、(内山, 2004) の (Fig. 3, 4, 5, 6) の海底地形図に示すとおり、山と谷との比高が大きい場合には約 3m、小さい場合には約 1m と、変化に富んだ海底地形をしている。上述の事から、前回の観測の大カスプの特性は、波長が約 400~500m で、汀線がリズム的に出入りを繰り返して出現する事がわかった。また、2001 年 9 月 27 日および 2002 年 10 月 18 日に実測した突出部と湾入部の移動距離は、それぞれ、約 73m と約 38m で、北東の方向へ移動した事になる (内山, 2003) (Fig. 4)。突出部と湾入部の出入りの差も顕著であったに違いない。このように、2001 年、2002 年の頃は、そんなに海岸侵食が進んでいないため、自然の節理に則する動作をしていた事にある。

一方、今回の大カスプの状態を考察するに際し、(Fig. 2) の①の測量による地形図であるが、2009 年には測量ができず、従って、地形図はなく、2010 年 11 月 7 日に測量の地形図を代用して考察する。

(Fig. 3) の海底地形図に示すように、山と谷との比

高が小さく、一定である。この図内に入っている箇所ので約 1m であって、図から外れている箇所、0 から南西へ約 1 km の付近において、初めて約 2m という有様となる。よって、突出部と湾入部の出入りの差も小さく、これらの移動した形跡もない。要は、固定された単調な大カスプの状態になってしまっている。そのうえ、波長が約 1 km と、前回の調査の時の約 2 倍程になってしまった。上述の要因として、相当程度に海岸侵食が進んだ事を指摘できる。それは、冬季に海浜の湾入部が消滅してしまい、水が傾斜護岸の下から三分の二の地点位まで、溯上する有様である。突出部だけが、僅かに残る程度である。上下浜の海岸は、南西へ約 1.3 km の地点に離岸堤、北東へ約 2.9 km の地点に柿崎漁港、と閉ざされた中での水、砂・礫の動作となるであろう。そのうえ、北東へ約 3.8 km の地点にある柿崎川河口で、2009 年 4 月から 2010 年 3 月まで、土砂の回収工事を行っており、この際の浮遊土砂が北東から南西へ向う沿岸流によって運ばれて、この海岸に堆積したのではないだろうか。この事を、ある程度明確にするために、次回になると思うが、上下浜の海岸の海底底質の粒度組成で考察したいと思っている。この場においては、ときに、(Fig. 4) と (Fig. 5) において、弧状沿岸砂州の接合部と中心部の、二つの図の岸・沖方向の断面図で、極深部と Trough の水深が本来、それぞれ、5~6m、7~8m となるはずである。しかし、これらの図から、二つの地点で約 2m の砂が、それぞれ堆積している事がわかる。堆積した物が“砂”である事は、2010 年 11 月 7 日に、この 2 地点で採取して来た事から自明の理である。上述のような事が、大カスプの形成に変調を来す所以であるに違いない。

(2) 大カスプの形成の成因とその過程

大カスプは、一定の間隔ごとに、海浜が砂・礫の堆積と侵食を交互に繰返して行って、形成に至る。別な言い方をすると、砂・礫の海への収支は大カスプを介して行われる事になる。要は、突出部は堆積の作用、湾入部は侵食の作用、がそれぞれ行われる。よって、突出部の海浜の幅は広く、湾入部のそれは狭いのが、それぞれの特徴である。第一義の要因は、砂・礫を移動させる水の流れである事がわかる。

日本海側および上下浜の海岸では、夏季に北から、冬季には西ないし北西から風が吹く頻度がそれぞれ高い。特に、西ないし北西から吹く風は強風となる。一方、北からの風は、発達する事もなく、精強くなっても 10~15m/s 位である。上述の事情から、冬季には、沿岸流が南西から北東へ流れ、波は西からやって来る。しかも、常時、猛烈に発達する事が多い。一方、

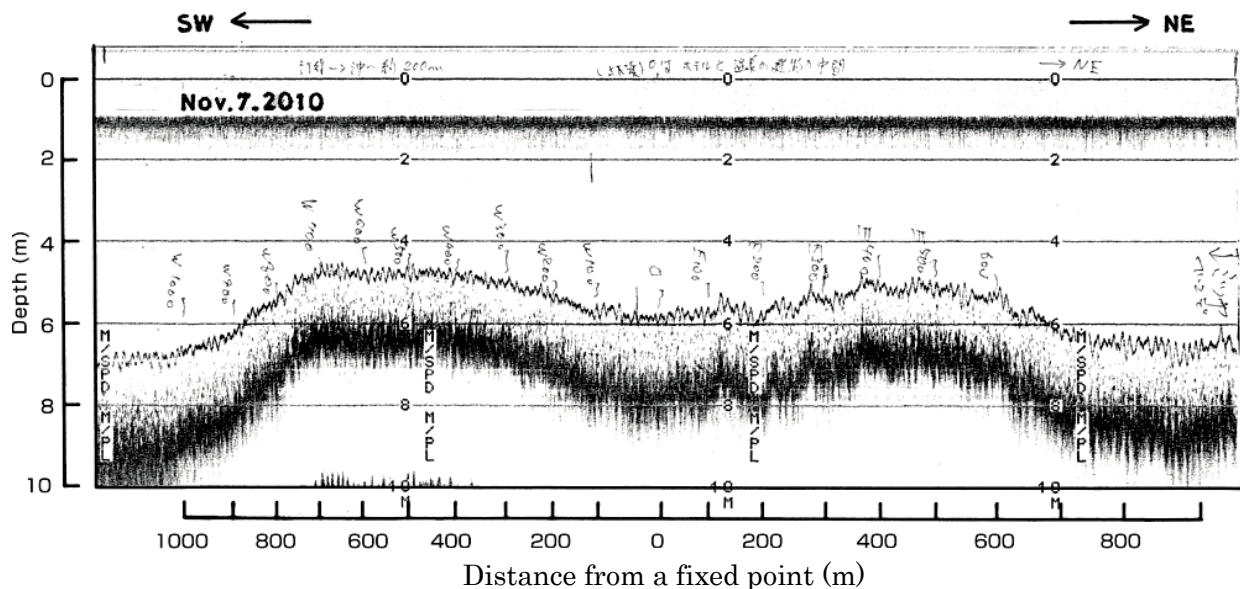


Fig.3 The bottom profile, from south west to north east, 200m offshore along the shoreline.

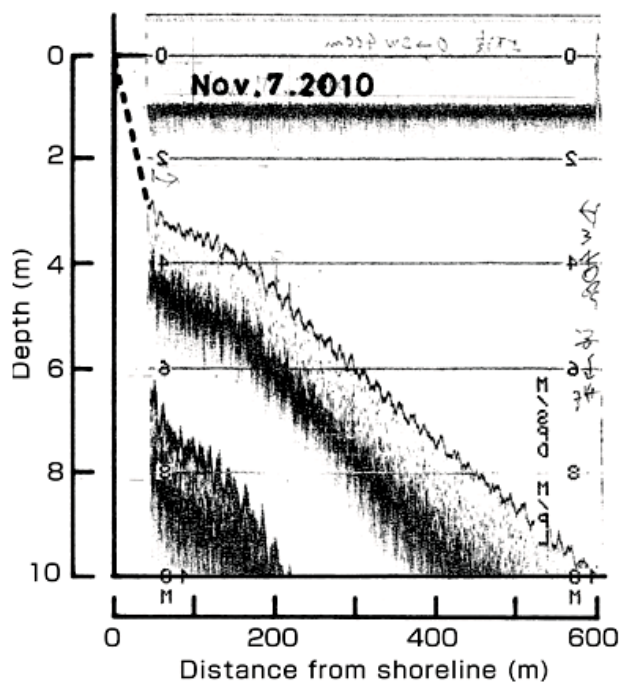


Fig.4 The bottom profile, from shoreline to offshore, on the jointed measuring line of the crescent-shaped bar.

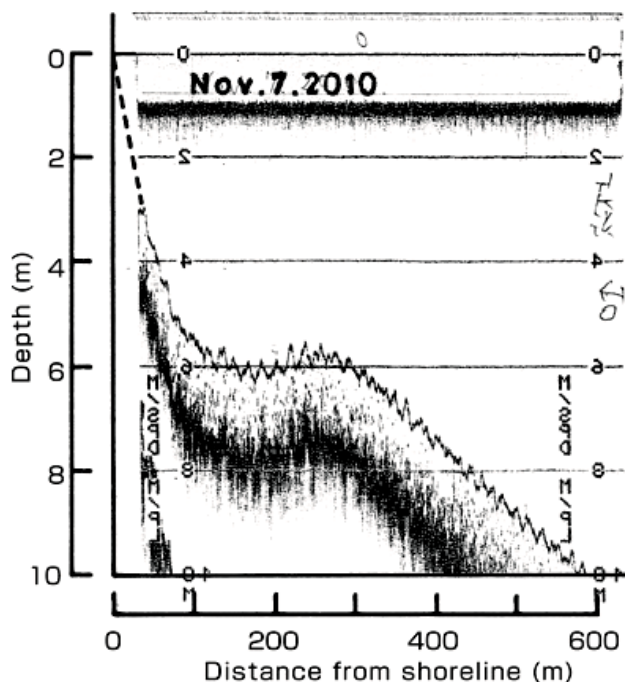


Fig.5 The bottom profile, from shoreline to offshore, on the central measuring line of the crescent-shaped bar.

夏季には、沿岸流が北東から南西へ流れ、波は北からやって来る事が多い。よって、あまり発達する事はない。そのうえ、上下浜海岸は、両側から、人口構造物に挟まれているため、幾多の変則的な事が生じやすい。

汀線から沖へ約 300~400m 位の海底で微小な異変が起きますと、波は凸レンズを通ったかの様に海岸線の一箇所に焦点を合わせ、集中するようになる。ある

いは、波が汀線付近に近付いた時、角度の違いで、波の一部分においてオーバーラップし、ベクトルの合成によって、発達する事になる。それが、汀線で碎波して、多量の水が勢いよく溯上する事によって、砂・礫を巻き込んで海浜に堆積するだろう。しかし、その水が海へ戻る時には、それ以上の多量の砂・礫を侵食して流れ下だることになる。そして、この箇所が大力

スプの湾入部となるのである。水の一部は砂浜に渗透するが、大部分の水は海底を沖の方へ、砂・礫を侵食しながら流れ下る。この水の流れを離岸流と言う。水の流れの勢いが弱まった、汀線から沖へ約 300～400m 位の地点で、運んで来た砂・礫を堆積・積み上げる、しかも、分級作用を施しながら、大体“砂”のみである。この箇所を、弧状沿岸砂州中心部の Bar と言う。ここで今度は、沿岸流が加味して、ベクトルの合成が起こる。合成された水の流れは、堆積された砂の箇所、つまり、Bar の縁を回り込むようにして、砂を運びながら岸側へ向う。そこで、汀線から沖へ約 150～200m の箇所に堆積し、ここが弧状沿岸砂州接合部の極浅部となる。また、それが、沿岸流によって運ばれて海浜に堆積し、この箇所が大カスプの突出部となるのである。上述が真実に限り無く近い、成因とその過程ではないだろうか。

2.2 小カスプ

小カスプは、(Fig. 6, 7, 8, 9) に示すように、海浜上で、小高い山と小さな谷が交互に、一列となって形成される。主に前浜での形成が多く、海浜の幅の広い箇所では、後浜でも形成となる。条件さえ合致した時には、何列もできる事もある。汀線から後浜へ一定の距離の地点を汀線に沿って現れ、ちょうど自然が織成す芸術作品のように思える。それらの型や位置については、後述する事にする。

(1) 前回と今回の地形形状での差異

前回の調査は、2000 年 4 月 14 日に行った。今回のように、海浜地形の測量を行っていないため、上述のような小カスプの断面図はない。従って、形成した位置と波長のみの比較による考察に止める。そのうえ、大カスプの湾入部での小カスプの調査が抜けていて、また、海浜地形の汀線から後浜までの測量も抜けている。まったく、整合性がない事がわかったし、大失敗であった。2000 年 4 月 14 日の調査において、二段の小カスプの形成があった。一段目と二段目のそれぞれの位置と波長については、汀線から後浜へ約 7～10m、約 25～30m の地点、測量した 29 スパン、15 スパンのそれぞれの相加平均で、19m、43m を示す。

ここで、大ざっぱではあるが、前回と今回の状況を比較するに止める。まず、大きな違いは、前回において、二段の小カスプが形成されたという事である。

(内山, 2003) の (Fig. 5) 2001 年 9 月 25 日、(Fig. 6) 2002 年 10 月 18 日にそれぞれ測量した海浜地形図(汀線から後浜まで)を代用で検証し、(Fig. 10, 11, 12, 13) 2010 年 10 月 8 日測量の海浜地形図(汀線から後浜まで)とを見比べる。海浜の幅でみると、今回は、突出部で約 3～4m、湾入部で約 2m ないし 8m、それ

ぞれ狭くなった事がわかる。また、前浜の傾斜角度は、ほとんど変わらないようだ。要は、2000 年 4 月 14 日のこの時期は、まだ、侵食がそんなに進行していなかった事がわかる。だからして、4 月に小カスプの形成があって、しかも、二段の形成が生じる事は、もっともな話である。前回の海底地形図(岸沖方向)で、いずれも代用の四つの図であるが、(内山, 2004) の (Fig. 8, 7) 2001 年 8 月 6 日、(Fig. 10, 9) 2002 年 9 月 20 日、と今回の (Fig. 4, 5) 2010 年 11 月 7 日を比べた時、前者の方が明らかに、極深部、Trough から汀線にかけて、急傾斜になっている。一方、後者では、極深部と Trough に厚く砂が堆積して(この件は次回、明確にする)、それらの地点から汀線にかけて、緩い傾斜の状態だ。この事から前回においては、波が上述の両地点を通して、急傾斜にさしかかった時には、急に発達する事になり、波力が最高調に達してから汀線で碎波し、溯上する事になる。これにより、溯上した水の先端は海浜の後浜基部にまで達し、二段の小カスプはもとより、一段のその形成に繋がるのである。しかし、波が絶頂期よりも衰退期に小カスプの形成になっている傾向のようだ。しかも、水が溯上した最先端点と汀線の間点付近に、一列に、および汀線に沿って形成となる。小カスプの一、二段についての詳細は、(内山, 2003) を見ていただきたい。

(2) 今回の 2009 年 10 月 30 日と 2010 年 10 月 8 日の両者における地形形状の差異

まず、両者の差異の考察の前に、2009 年 10 月 30 日に近い時期での海底地形と海浜地形(汀線から後浜まで)測量が抜けているため、図がなく、推測の域内の考察に止める。(Fig. 6, 7)、(Fig. 8, 9) は、後浜から汀線の方を向いた時の小カスプの断面図である。縦軸の縮尺を大きくとって、誇張して描いている。なお、底質採取や波長の測定は、極高点の数で、10 数点から 20 点前後の範囲で行ったが、測量して地形図・断面図に、ほんの一部を描いた。これから、比高を算出する事になる。

(a). 前者において (Fig. 6, 7)、突出部での形成の位置は、汀線から後浜の方へ約 5～7m である。波長は、測定した全 21 スパンで、相加平均すると 18.7m になる。比高は、四つの相加平均で、41.7cm を示す。突出部では、後述する湾入部と違って、波は少し減衰して汀線で碎波し、溯上する事になる。この後の形成の過程は、後述の湾入部と全く類似している。ただし、突出部の海浜の幅は広いいため、水が溯上した最先端と汀線の間点付近の位置に、小カスプの形成となる。極低点から北東側の極高点の方へ上がった間点付近にある膨らみは、次の説明からである。10 月 30 日という、夏季から冬季へ移行の時期であって、むしろ、

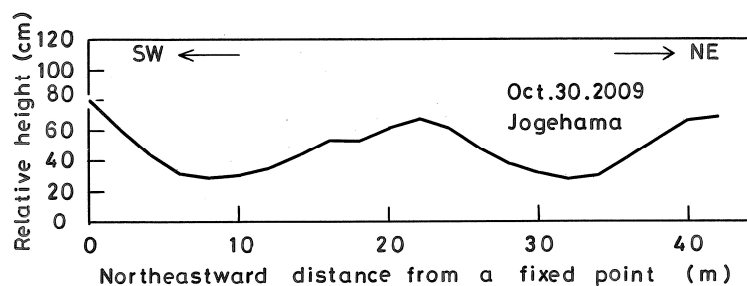


Fig.6 The beach profile of the small cusp, on the foreshore. On the projection of the large cusp.

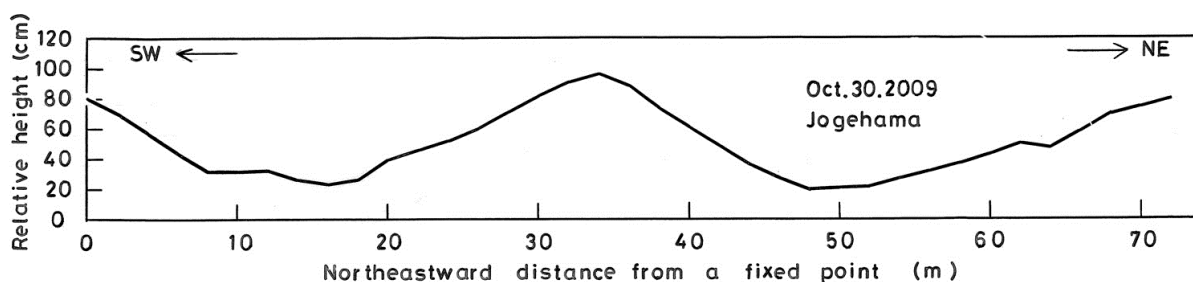


Fig.7 The beach profile of the small cusp, on the foreshore. On the embayment of the large cusp.

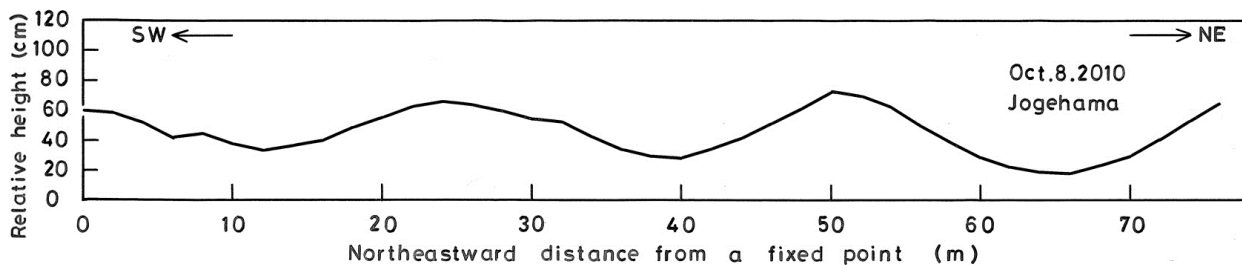


Fig.8 The beach profile of the small cusp, on the foreshore. On the projection of the large cusp.

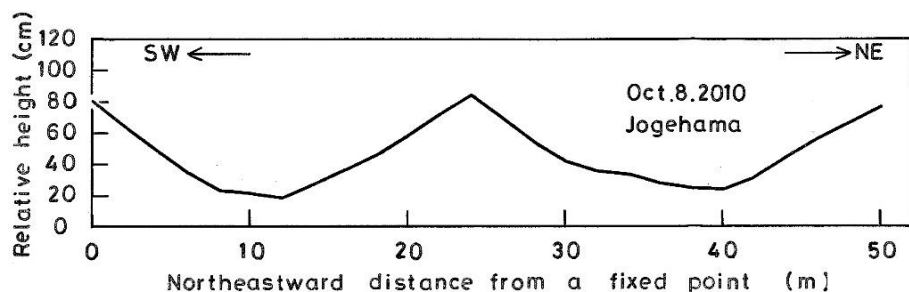


Fig.9 The beach profile of the small cusp, on the foreshore. On the embayment of the large cusp.

冬季にやや入ってきた状態である。それ故、北寄りからの風よりも西寄りからの方が、強さ、回数ともに頻度が高くなる。そのため、波力の大きい波が西から進入する。汀線に近付くにつれて海底は浅くなってくるから、普通は汀線付近で屈折して、汀線のある点の微分係数が0の接線に対して直角に碎波するはずである。しかし、波力が大きく、屈折しきれず、そのまま角度を保って碎波し、溯上する。これにより、砂・礫が水に乗って運び上げられて、堆積し、膨らみとなった。

湾入部において、形成の位置は、汀線から後浜の方へ約7~10mである。波長は、測定した全12スパンあって、相加平均すると36.6mになる。比高は、四つの相加平均で、66.1cmを示す。大カスプの突出部と湾入部の海浜における、それぞれの小カスプの形状を比較してみると、波長と比高で、数字の上から湾入部の方が圧倒的に大きい。そのうえ、形成の位置も、突出部に比べて、2~3m程後浜側となる。断面図の極低点から北東側の極高点との中間点付近に、膨らみがある。突出部の所で論述の波の動作や事情に付加して、明らかに湾入部では、波力の強い、大きな波が汀線で碎波し、溯上した事になる。溯上した水の最先端は、傾斜護岸の三分の二位の高さまで上がり、勢いのある戻り水として流れ下だる。その一部は護岸の隙間から落ちて海浜に滲透し、大部分の水は海に戻る。この時、海浜の砂・礫を削り取って、海へ運ぶ。この箇所が極低点となる。波は汀線で碎波して、ある程度、扇状に溯上するからして、その強弱によって波長が決まってくる。砂・礫が分級作用や浮力を受けながら押し上げられて堆積する地点がある。これが、極高点としての出現となる。

上述の第一義的な要因は海底地形によるのだ。しかし、この年は、深浅測量と海浜地形の汀線から後浜までの測量を行っておらず、推測の域内で熟考する事で、仕方無い。柿崎川河口の浚渫工事は、2009年4月に始まり、2010年3月に終わっている。この事から、2009年10月30日の測量・調査日（小カスプの）に、多量の砂が運ばれて、上下浜の海底に堆積する事はなかったのではないか。そのうえ、この時期は冬季の入口で、西寄りからの風、波と南西からの沿岸流と、それぞれに作用する頻度が高くなってくる。この事から、恐らく、海底地形は、（内山、2004）の（Fig. 3, 4, 5, 6）や（Fig. 7~14）にそれぞれ類似していたのではないだろうか、しかし、それらはわからない。また、海浜地形の汀線から後浜においても、（内山、2003）の（Fig. 5, 6）に類似していたか、やや幅が狭かったのではないかとそれぞれ類推する。

従って、突出部の海浜では、海底の弧状沿岸砂州接合部に対応とあって、波は浅い箇所を通過して汀線に

やって来る事になる。やや、衰退ぎみの波は、汀線で碎波し溯上するが、海浜の幅も広く、傾斜も緩いため、先端の水は行き着く所まで行くが、そのほとんどが滲透してしまっ、戻り水で流れ下だる事はない。それ故に、汀線に近く、波長の短い、比高の小さい、の形成となるようだ。

一方、湾入部の海浜は、海底の弧状沿岸砂州中心部に対応していて、波がBarの浅い箇所を一瞬にして通過し、やや衰退するが、Troughでまた発達し、汀線までの急傾斜を波力の最高調を維持しながら、汀線で碎波し、溯上する。溯上の際には、ある程度の砂・礫を巻き込んで、海浜の前浜の急傾斜を扇状のように上がりきり、小高い山となって堆積する。これが、極高点となって出現する。また、溯上した水の先端が傾斜護岸の三分の二位の高さまで上がり、一部の水はブロックの隙間から落ちて海浜に滲透するが、大部分の水が流れ下だって、砂・礫を削り海へ流出する。これで、海浜の前浜に極低点となって出現するが、海に流出した水は、砂・礫を伴って、離岸流として海底を流れ下だる。

(b). 後者において（Fig. 8, 9）, 突出部の海浜に形成の小カスプの位置は、汀線から後浜へ約12mである。波長は、測量した9スパンで、相加平均すると、25.5mとなる。比高は、四つの相加平均で、38.5cmを示す。突出部は、弧状沿岸砂州接合部に対応している事で、極浅部から汀線まで、緩やかに浅くなっている。従って、波も徐々に波力、および大きさが減衰して、汀線に入ってから碎波する事になる。碎波して、溯上する水は、汀線からあまり遠くない距離だけ先端が行き着く。汀線で碎波して溯上する水の性質として、扇状になり、砂・礫を運び上げる事である。突出部における海浜の幅は、湾入部のそれと違って広い。この事から、溯上した水は、戻り水として流れ下だって、砂・礫を削る事もなく海浜に滲透するのが、大部分となる。これらの事から、突出部は堆積の場である事がわかる。上述からして、比高が小さく、波長が湾入部のそれと比べてやや長い小カスプの形成となったのであろう。極低点から南西側に出来た小さな膨らみは、10月8日のこの時期、まだ、北寄りからの波で、大きな波がやって来る頻度が高い。この事で、大きな波が、汀線付近で屈折しきれず、ある角度を保ったまま碎波し、砂・礫を運び上げて、膨らみの量だけ堆積となったのではないかと。

一方、湾入部の海浜に形成の小カスプの位置は、汀線から後浜へ約13mである。波長は、測量した9スパンで、相加平均すると、23.7mとなる。比高は、四つの相加平均で、59.6cmを示す。湾入部は、弧状沿岸砂州中心部に対応していて、Troughから汀線まで急傾斜

している。また、海浜の幅も狭く、溯上する水は一直線に傾斜護岸の三分の二程の高さまでかけ上げる。もちろん、扇状に砂・礫を運び上げる行為もあるだろう。溯上した先端の水の一部はブロックの隙間から落ちて滲透するが、大部分の水は傾斜護岸から加速度を付けて、流れ下だつて、砂・礫を削って、海へ流出する。その後、離岸流として海底を、砂・礫を伴って沖へ流れ下る事になる。こんな風にして、比高が大きく、波長がやや短い、小カスピが出来上がったのだろう。

小カスピの形成の過程、事情は、前者で論述のように双方とも類似する。しかし、風向、波向、これらの発達する回数および沿岸流の方向、発達の回数、のそれぞれの頻度は、前者と後者と相反する事になる。

(3) 小カスピの形成の成因とその過程

まず、砂・礫海岸である事が第一条件である。粒径の大きさが違う事で、浮力、分級作用に差ができ、堆積や移動の際にも、速さ、程度の面で差が生じる事になる。夏季と冬季において、発達して吹いて来る風の方角や発達して流れ行く沿岸流の方角、のそれぞれの頻度が、その二つの時期で相反する事である。それに付随して、離岸流も発達する事だ。これらの条件のもとで、砂州が弧状に形成される事である。弧状沿岸砂州が出来れば、接合部、中心部と対になる大カスピの突出部、湾入部が出来てくる。要は、弧状沿岸砂州と大カスピの突出部、湾入部の間を砂・礫が循環する事になる。この循環が、バランスの良し、悪しによって、海浜の安定か、堆積か、また、侵食となっていく。この意味で、突出部と湾入部の海浜に形成の小カスピは、重要な一つの役目を担う事になる。

詳述するにあたり、海底地形で、(内山, 2004) の (Fig. 3, 4, 5, 6) , (Fig. 8, 7, 10, 9, 12, 11, 14, 13) と海浜地形で、小カスピの断面図の (Fig. 6, 7, 8, 9) , 汀線から後浜までの断面図の (内山, 2003) の (Fig. 5, 6) および (Fig. 10, 11, 12, 13) をそれぞれ、熟慮な考察のために使用する。形成の第一義的な要因は、波である。次に、海底地形で、つまり、砂・礫の堆積具合によって、波が発達、減衰や屈折、干渉する。それらにより、形成の仕方が違って来る。波は大小であれ、あらゆる方向からやって来る。日本海側あるいは、上下浜の海岸においては、10月30日の時期は冬季の入口の頃で、西寄りから、また、10月8日の時期は夏季の終焉の頃で、北寄りから、とそれぞれ、強い風および大きな波が、やって来る頻度が高い。この事は、直江津港にある各役所、事業所からいただいた、風速計、波高計のそれぞれのデータを精査して、確証済みである。

あらゆる方向からやって来た大小の波であっても、弧状沿岸砂州中心部の Bar の浅い箇所の上を通る事になる。砂州の中心部は弧状になっており、言わば凸

レンズという様相である。この事から、砂州の上を通った波は屈折し、焦点に向う事になる。当然、この時点で、波は少し減衰する。焦点の位置も汀線より少し沖側にある。砂州の上を通り過ぎて、次は、Trough の水深の深い箇所です少し発達してから、徐々に浅くなって行き、波は少しずつ減衰もする。汀線近くになると、屈折して、汀線に対して直角に進入し、砕波となる。しかし、ここで、屈折する波と、しない波が出現する。小さな波は素直に屈折して、汀線に対して直角に入ってくる。それに対して、大きな波は屈折しきれずに、汀線に対してある角度を保ったまま進入し、砕波する事になる。当然、ここに砕波のための時間差が生じる。速く汀線付近に到達した大きな波は、前に屈折して汀線に対して直角になった、遅い、小さな波に追い付き、オーバーラップする箇所が出現する。このようにオーバーラップした事によって、ベクトルの合成が起り、波力を強め、砕波して溯上する。この動作を行った先の海浜上には、小カスピの極低点が出現し、両側へは扇状に砂・礫を積み上げるように溯上して、小カスピの極高点の出現となる。このように、波が汀線付近でオーバーラップする箇所は、大体、小カスピの波長の距離ごとに、等間隔に、汀線に沿って起る事がわかった。上述の詳細なる成因は、長い間の熟慮なる観察から確証を得たのである。

上述の他の形成の条件や事象について述べる。海浜の前浜において、傾斜角度が、多くの文献によると、4~7度がその条件である、となっている。しかし、長い間の考察した結果では、7~9度位が最も形成しやすい角度である事が判明した。海底地形では、しっかりとした弧状沿岸砂州の形成・発達がある事。これにより、バランスの良い砂・礫の収支が行われ、小カスピの形成にとって最適な波の屈折とオーバーラップが得られる事となる。上下浜の海岸では、西寄り、あるいは北寄り、からの波がやって来る頻度が高い事だが、それぞれの波がやって来る側に面した大カスピの突出部においては、明瞭な、比高の大きい、小カスピの形成が見られる。一方、影になる側においては、波が回り込んで来る事があったとしても、小カスピの形成が、不明瞭または、見られない。また、形成時の傾向として、汀線から離れて、後浜へ近付くにつれ、波長が長くなる。波が汀線で砕波し、溯上した水の最高到達地点と汀線の間付近に、汀線に沿って一列に形成する。しかも、波の絶頂期よりも衰退期での形成が多い。

3. 海浜底質の粒度組成

3.1 海浜底質採取と粒度分析

前述のように、明瞭な小カスプの形成があるのは、9, 10, 11 月頃なのだ。この時期は、夏季の終焉、冬季の入口、という事で、ちょうど境目の頃である。つまり、北寄りから、あるいは西寄りから、とそれぞれ大きな波が順番にやって来て、形成には最適となる。海底においても、砂・礫の海浜への収支もバランスがとれている。従って、波が弧状沿岸砂州のそれぞれの地点で、屈折、減衰、発達、等を起しやすく、小カスプの形成には最良と化す。しかし、大カスプの突出部、湾入部が弧状沿岸砂州の接合部、中心部にそれぞれ対応し、砂・礫の収支はそれらを介して行いながら、沿岸流に従って移動するような自然の節理に添う動作は、あまり顕著でない。上下浜の海岸は、両側を人工構造物に挟まれているため、上述のような動作はあまり勝れていない。固定してしまったようで、ここ数年間は同じ場所に、大カスプと弧状沿岸砂州のそれぞれの地点が存在しているようだ。ともすると、小カスプの極高点と極低点も、同じ位置にあるような気さえる。

上述の事象を加味しながら、2009 年 10 月 30 日に、大カスプの突出部と湾入部において、小カスプの極高点、極低点、という具合に、交互に、それぞれ全部で 43 個、25 個の海浜底質採取を行った。また、次の年の 2010 年 10 月 8 日においても、前述と同様な手法を用いて、それぞれ全部で 19 個、19 個を採取した。それに付随して、大カスプの突出部、湾入部において、小カスプの極高点および極低点を通る、汀線から後浜までの二つの測線で、5m 間隔の海浜底質の採取を行った。

上述の条件のもとで、一定量採取した試料を自然乾燥し、均質に処理して、1/4 φ 間隔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った。また、以下において、解析時すべて、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) 大カスプにおける、汀線から後浜までの海浜の粒度組成

突出部（Fig. 10, 11）において、小カスプの極高点を通る測線（Fig. 10）の $Md\phi$ は、汀線～汀線から後浜へ約 15m の地点間で、 $-0.7 \sim -0.4\phi$ の値を示し、極粗砂で組成する。汀線から後浜へ約 18m の地点は、 -1.99ϕ の値を示し、小礫・中礫の組成である。これは、小カスプの極高点より後浜側へ約 6m の地点が窪んだ状態で、礫等が堆積しやすい。この原理はというと、海浜底質の採取を行った頃は 10 月 8 日で、夏季の終焉に近い頃である。北寄りからの風も強く吹き、沿岸

流も北東から南西へ向う、といった状態になる頻度は高い。先述のごとく、2010 年 10 月 8 日の突出部、湾入部の小カスプの断面図（Fig. 8, 9）を見てのとおり、極低点よりやや南西側に、少し盛り上がりが見られる。これで、波が北側から大きなエネルギーを持って進入したという証なのである。以前は、糸魚川の海に流出する、いくつかの河川からの礫は、南西から北東へ向う沿岸流に乗って来て、大潟海岸に多量堆積し、滞留した事である。この事は、鉱物組成からも明確になっている。しかし、直江津港防波堤の延伸によって、それが遮断の結末となり、現在では、前年報（内山, 2010）にも記述したように、米山を源流とする河川から流出した礫は、夏季に頻度が高い北東から南西へ向う沿岸流に乗って、少量だがやって来る。そこで、上下浜の海岸の汀線付近で滞留する事になる。9 月から 10 月にかけての北からの大きな波によって、汀線で碎波して溯上する水に乗り、運び上げられて窪地に堆積する。つまり、突出部の極低点を通る汀線から後浜までの測線は、一番傾斜が緩い事から、溯上して、この地点を通り、大きな浮力を生みやすい。極低点といい、前浜自体が $-1.0 \sim 0\phi$ の極粗砂の堆積で 70～90% 位からして、堆積しやすく、また移動しやすい砂である事がわかる（内山, 2010）。極低点を通して溯上する水は、ちょうど水路の様な所を通るから、勢、および力を増し、この地点を通り過ぎると扇状に広がる。この広がった水に乗って、ポケット状になった窪地に転がり込むのである。これが、その地点に多量の礫が堆積する所以であって、すべて、小カスプの極高点の裏へ約 6m の地点には、ポケット状の窪地があって、多量の礫を堆積させている。汀線から後浜へ約 20m の地点～後浜へ約 30m の地点間は、 $0 \sim 1.0\phi$ の値を示して、粗砂で組成する。この区間は後浜の域に入るので、細粒化しているのがわかる。特に、汀線から後浜へ約 30m の地点では、極めて 0ϕ に近い粗砂で組成となる。 $\sigma\phi$ は、汀線～汀線から後浜へ約 15m の地点間で、極めて値が小さく、高い頻度の分級作用が行われた。この地点間は前浜という事で、波が絶えず、碎波して溯上し、分級作用も繰返し受ける事から淘汰が大変良い。汀線から後浜へ約 18m の地点は前述のように、ポケット状の窪地なので、極めて淘汰が悪い。極低点を通して勢いよく上がって来る水が、分級作用もできないような状態で、礫とこれよりも細粒な成分を混合して運んで来て、この窪地に堆積し、淘汰が悪くなった。汀線から後浜へ約 20m の地点～後浜へ約 30m の地点間の後浜では、あまり水が来る事もなく、分級作用も起りにくい。粗砂を主要成分として、中砂、細砂へと細粒成分が少しずつ混合する頻度を増す事により、淘汰が悪くなって行く。 $\alpha\phi$ は、

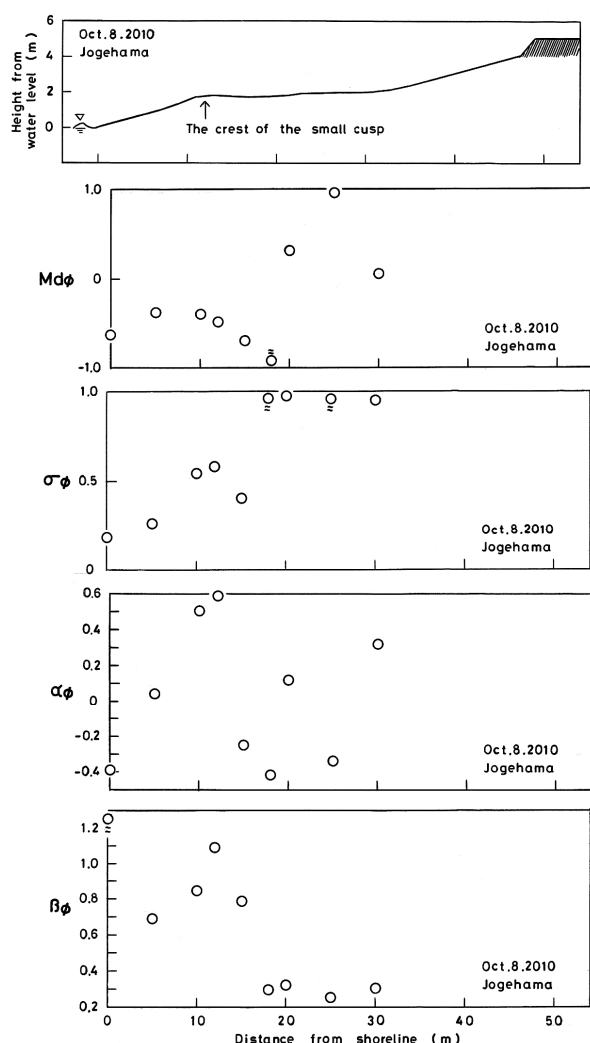


Fig.10 The beach profile that goes through at the crest of the small cusp, from shoreline to the sea bank, on the projection of the large cusp and each distributions of those grain size characteristics of the beach sediment, on the measuring line.

汀線, 汀線から後浜へ約 15m の地点, 約 18m の窪地, 約 25m の地点, の 4 地点が負にシフトする。また, 汀線から後浜へ約 5m の地点, 約 10m の地点, 約 12m の地点, 約 20m の地点, 約 30m の地点, の 5 地点で正にシフトしている。このように, どちらかにシフトするのは, $Md\phi$ の主要成分の混合の仕方と $\sigma\phi$ の分級作用の度合による兼合で決まる。つまり, (内山, 2010) に論述したが, 負側あるいは正側にシフトするのは, 主要成分よりさらに粗粒な, あるいは細粒な, 微量な成分が分布曲線の負あるいは粗粒側に, 正あるいは細粒側に, その反対側より長い“tail”をもつことが, その方に歪む要因なのである。 $\beta\phi$ は, 汀線から後浜へ約 5m の地点～後浜へ約 15m の地点間の 4 丸で, $\sigma\phi$ の値と山型の傾向が類似し, 1 丸, 1 丸, 精査した時に, $\sigma\phi$ の値と逆相関している。汀線と汀線から後浜

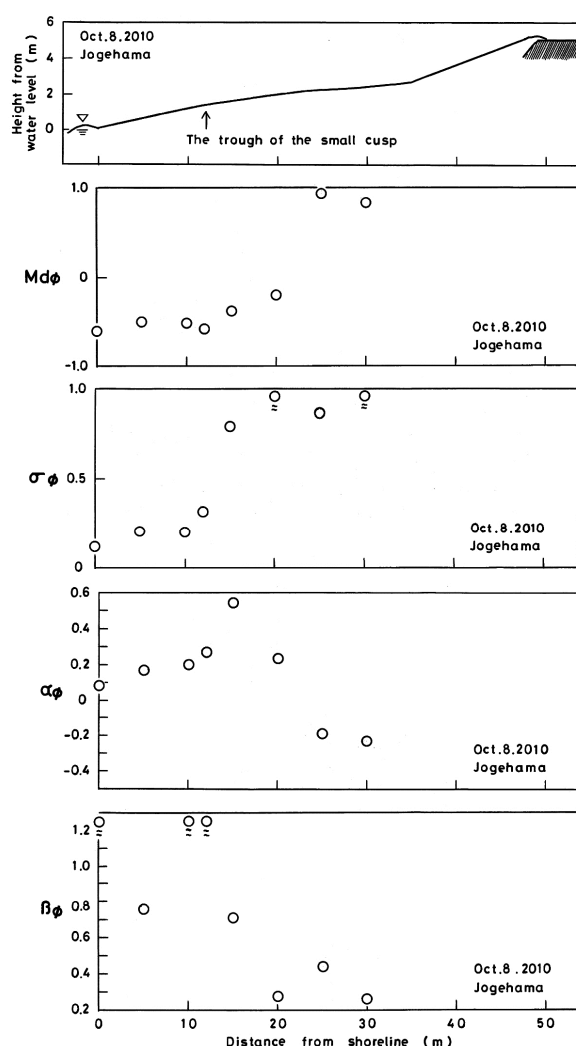


Fig.11 The beach profile that goes through at the trough of the small cusp, from the shoreline to the sea bank, on the projection of the large cusp and each distributions of those grain size characteristics of the beach sediment, on the measuring line.

へ約 18m の地点～後浜へ約 30m の地点間で, $\sigma\phi$ の値と完全なる逆相関として現れる。

小カスプの極低点を通る測線 (Fig. 11) の $Md\phi$ は, 汀線～汀線から後浜へ約 20m の地点間で, $-0.6 \sim -0.2\phi$ の値を示し, 極粗砂の組成である。汀線から後浜へ約 25m の地点～後浜へ約 30m の地点間の後浜の 2 丸について, $0.8 \sim 1.0\phi$ の値で, 極めて中砂に近い粗砂の組成となる。大まかな傾向は, この測線の地形と類似した滑らかな右肩上がりのような。 $\sigma\phi$ は, 汀線～汀線から後浜へ約 12m の地点間の前浜の値が小さく, 激しい分級作用が起ったと思われる。汀線から後浜へ約 15m の地点, 約 20m の地点, の 2 地点については, 値が大きく, あまり分級作用を受けなかったようだ。これは, この測線が大カスプの突出部における小カスプの極低点を通る事から, 溯上する水の力も弱く,

そのうえ、海浜の幅も広く、水の最先端がこの2地点に時々しか到達しなかったろう。このため、汀線～汀線から後浜へ約12mの地点間に堆積して混合する主要成分の極粗砂よりも細粒な成分の粗砂、中砂等が浮遊して、この2地点に運ばれて来て混合する事により、淘汰を悪くする事に繋がった。この事については、次に論述する $\alpha\phi$ が、この2地点の正にシフトしている事から証明できる。汀線から後浜へ約25mの地点、約30mの地点の2地点についても、淘汰が大変悪い。この2地点が後浜基部に近く、溯上した水の先端はあまり到達しなかったろう。そのため、主要成分の粗砂よりも粗粒な成分の極粗砂か、あるいは小礫等が、何らかの方法で運ばれて堆積、混合する事により、淘汰を悪くした。この2地点の淘汰を悪くしている砂は、海浜の後浜基部に形成する海岸砂丘の関与によるものと思われる。全体的な傾向として、後浜へ向って右肩上がりとなる。 $\alpha\phi$ は、前述のような方法で負、正どちらかにシフトするか、決まってくる。汀線～汀線から後浜へ約20mの地点間は正にシフトする。これは、この地点間の主要成分が極粗砂で、6丸ともに正にシフトする事から、それよりも細粒成分が粗粒成分より微量同志の混合で、勝っている事により、そうさせた。汀線から後浜へ約25mの地点、約30mの地点、の2地点については、負にシフトしていて、前述のように、海岸砂丘砂が大きく関与しているに違いない。 $\beta\phi$ は、再三再四論述のように、 $\sigma\phi$ の値と逆相関している。ここにおいても、全体的な傾向として、後浜へ向って右肩下がり傾向を示す。しかし、汀線から後浜へ約5mの地点で、値が両側の地点の値よりやや小さい。この事は、分布曲線において、5～16%と84～95%に対応するそれぞれの ϕ 値、つまり両側の“tail”が、この地点の両側の地点のそれらの“tail”よりもやや短かった事を物語っている。

湾入部 (Fig. 12, 13) において、小カスプの極高点を通る測線 (Fig. 12) の $Md\phi$ は、 $-1.0 \sim -0.2\phi$ の値で、極粗砂の組成となる。全体的な傾向として、汀線から護岸 (後浜はない) の方へ向って右肩下がりだ。突出部におけるこの測線 (前浜のみ) とも、全く同様な傾向を示す。汀線から護岸の方へ約17mの地点は護岸の上に堆積した底質で、礫成分がない。これは、北東から南西へ向う沿岸流に乗ってやって来る (内山, 2010) 礫成分は、この時期まだ離岸流があまり強い流れでないで、大抵、Nearshoreに堆積となる。この頃、北からの波が主流だが、時々西から大きな波が来る時もある。湾入部は、突出部に比べて、海底、前浜の傾斜が急であるから、それらの波が碎波し、溯上する時の水の力は増す。しかも、小カスプの比高も大き

いから、大きく、多量の礫成分が水に乗って、傾斜護岸の中程までかけ上がって、少量の水は護岸の隙間から落ちて滲透する。また、大部分の水は礫成分を伴って、極低点を削りながら海へ流出する。この測線は、海浜の幅も狭く急傾斜で、突出部のこの測線のようなポケット状の窪地もなく、礫が堆積しようもないのが実情だ。 $\sigma\phi$ は、汀線の淘汰は良いが、護岸に近付くにつれて悪くなる傾向がある。これは、極高点を通る測線のため、碎波して溯上する水が極高点までの急傾斜を上ぼりきる前に、二つに分割して両側の極低点を通る測線を溯上するから、あまり、分級作用は行わないようだ。一応、右肩上がりのような傾向を示す気がする。 $\alpha\phi$ は、汀線～汀線から護岸の方へ約13mの地点間の4丸は正にシフトしている。汀線を除いて、主要成分の極粗砂よりも細粒な微量成分が、それよりも粗粒な微量成分より、分布曲線上で、正側の“tail”の長さが勝っている事から、そうさせたのだろう。汀線から護岸の方向へ約15mの地点、約17mの地点、の2丸は負にシフトする。これらの地点は、傾斜護岸の際という事で、分割して両側の極低点を通って来た、溯上の一部の水の合流点でもある。また、傾斜護岸の中程まで上がった水が流れ下り着く地点でもある。このように二つの方法で運ばれて来た主要成分の極粗砂よりも粗粒な微量成分が、分布曲線上で前述の逆動作となる事で、そうなった。 $\beta\phi$ は、全体的な傾向として、 $\sigma\phi$ の値の傾向と類似した、右肩上がりだが、 $\sigma\phi$ の値と1丸、1丸、精査して見比べたとき、逆相関しているような気がする。

小カスプの極低点を通る測線 (Fig. 13) の $Md\phi$ は、汀線と汀線から護岸の方へ約10mの地点、約14mの地点の3地点において、主要成分が極粗砂の組成である。しかし、汀線から護岸の方へ約5mの地点、約13mの地点、の2地点は、主要成分が極粗砂に近い粗砂で組成している。全体的な傾向としては、右肩上がりを示す。 $\sigma\phi$ は、汀線と汀線から護岸の方へ約5mの地点、約10mの地点、の3地点で値が小さく、顕著な分級作用が行われたようだ。汀線を除く2地点では、汀線で碎波して溯上する水と傾斜護岸の中程まで上がって戻る水と、常時、水が通る事から、そうなったのだろう。汀線から護岸の方へ約13mの地点、約14mの地点、の2地点は値が大きく、淘汰が悪い。主要成分が粗砂か、これに近い極粗砂、の組成で、また、水の合流点と傾斜護岸の際、という理由から、それらよりも細粒成分が滞留し、分級作用を鈍くした。全体的な傾向は、護岸の方向へ右肩上がりである。 $\alpha\phi$ は、全丸の5丸が正にシフトしている。主要成分の極粗砂・粗砂よりも微量な細粒成分が、微量な粗粒成分より、分布曲線

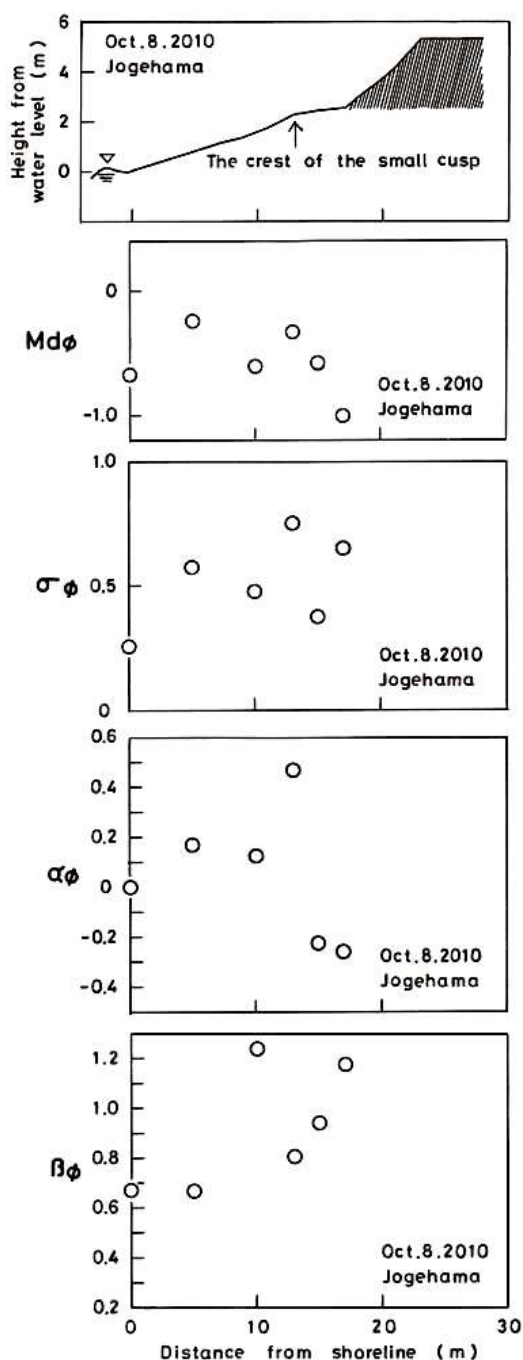


Fig.12 The beach profile that goes through at the crest of the small cusp, from the shoreline to the sea bank, on the embayment of the large cusp and each distributions of those grain size characteristics of the beach sediment, on the measuring line.

上で正側の“tail”を長くした事による。 $\beta\phi$ は、右肩下がりの全体的な傾向があり、 $\sigma\phi$ の値とは逆相関する。1丸だけ首をかしげるが、 $\sigma\phi$ の値と精査して見比べた時、逆相関がわかる。

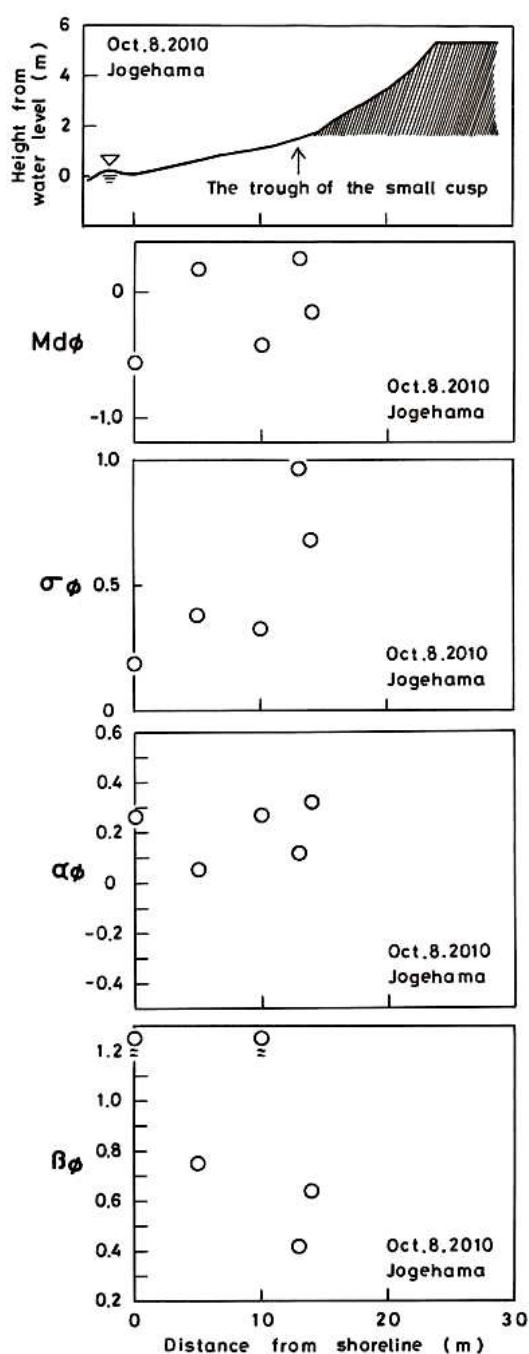


Fig.13 The beach profile that goes through at the trough of the small cusp, from the shoreline to the sea bank, on the embayment of the large cusp and each distributions of those grain size characteristics of the beach sediment, on the measuring line.

(2) ある定点より北東の方向へ、小カスプの極高点と極低点の海浜底質の粒度組成

まず、以後の図中に出て来る記号を説明すると、 $\bigcirc$: 小カスプの極高点、 $\bigcirc$: 小カスプの極低点、のように明記する。

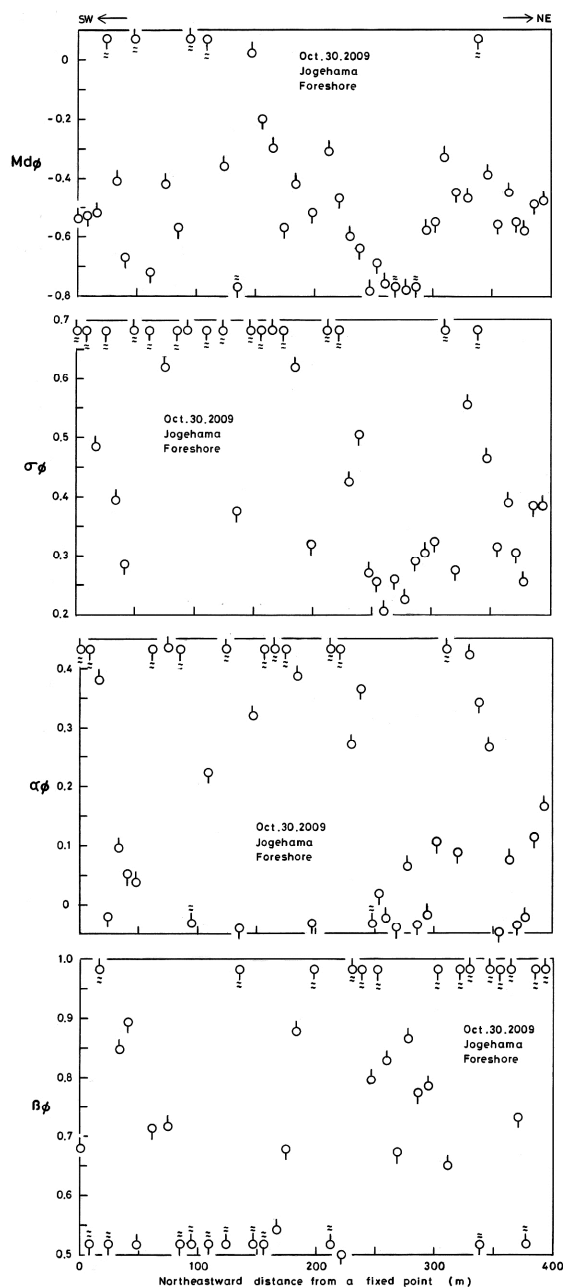


Fig.14 Each distributions of those grain size characteristics of the beach sediment,at both crests and troughs,of the small cusp.On the projection of the large cusp.

(a). 2009 年 10 月 30 日

大カブの突出部において (Fig. 14), $Md\phi$ は, 全体的な傾向として, 定点から北東へ約 275m の地点付近で極小値を示し, V 字型のようだ。極小値を示す丸の主要成分を小礫に近い極粗砂で組成している。0 ϕ より値の大きい 6 丸が, 主要成分を粗砂で組成していて, 極高点と極低点で, 半半に分けている。前述の主要成分が粗砂で組成している 6 丸を除いて, 定点～定点から北東へ約 260m の地点間で, $-0.8 \sim -0.2\phi$ の値を

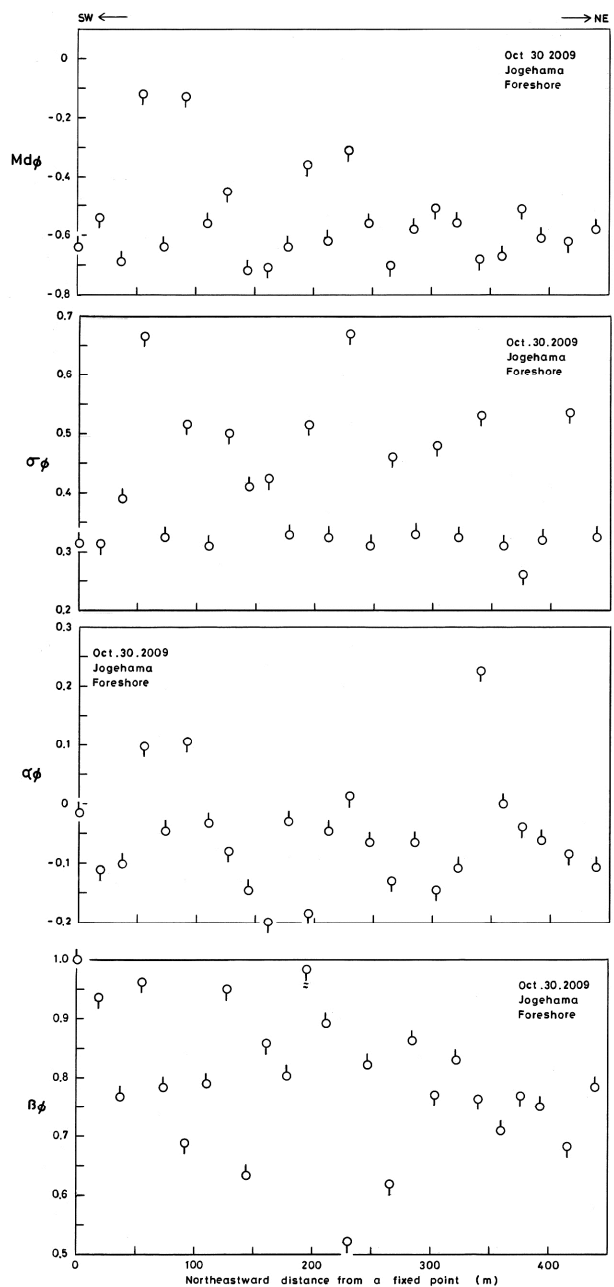


Fig.15 Each distributions of those grain size characteristics of the beach sediment,at both crests and troughs,of the small cusp.On the embayment of the large cusp.

示し, やや, 変化の幅が広く, 主要成分を極粗砂で組成する。また, 極高点と極低点の値が交互に変化し, 極低点の値が極粗砂の範囲内で, 極高点の値よりも粗粒側に位置する丸が, 微少なりとも多いようだ。定点から北東へ約 290m の地点～北東へ約 400m の地点間は $-0.6 \sim -0.3\phi$ の値で, 変化の幅が狭い。後述するが, 恐らく, 激しく分級作用を受けたものと思われる。この区間も前区間と同様に, 極低点の値の方が粗粒となるような丸が微少なりとも極高点の値より多

いようだ。

前述のような粒度組成の状況において、この小カスプの形成の場所は大カスプの突出部で、連結して対になっているのは、弧状沿岸砂州接合部である。海底には多量の細粒成分が堆積していて、この時期、風、波、水の流れ、ともども、冬季の様相になりかけてくる事でもある。しかし、役所、事業所の観測データでは、まだ北寄りからのそれらの頻度が高いようだ。つまり、北からの波と北東からの沿岸流が、この小カスプの形成に多大なる貢献をしている事がわかる。先述したが、この小カスプの極低点より微少、北東側にある小さな膨らみは、西から大きな波が進入したという証拠になるが、小カスプの形成にとって取るに足りない。定点から北東へ約 275m の地点付近の値が大きく落ち込んでいるのは、北東から南西へ向う沿岸流に乗ってやって来る礫成分や粗粒成分が、もっと流れ行く先の途中の上下浜海岸の汀線付近か、また Nearshore に多量、滞留する事になる。次に、北からの波が汀線付近にたどり着く途中の弧状沿岸砂州中心部の Bar の上を通過する。この時、Bar がちょうど凸レンズのような役目を担って、屈折し、前述の地点付近の汀線の手前に焦点を合わせる。また、西からやって来る波も、弧状沿岸砂州接合部の極浅部を通るため屈折して、先程の焦点の位置にやって来る。そこで、両方からの波が汀線の手前でオーバーラップをし、ベクトルの合成により波力を増し、砕波して溯上する時に、激しい分級作用を行う。礫成分と粗粒成分が前述のような行為を受けて、小礫に近い極粗砂が小カスプの位置に滞留し、混合する事になる。その一方の礫成分は、水路ようになった極低点を水に乗って運ばれて、極高点の裏の約 6m 程の地点の窪地に堆積となる。そもそも、大潟海岸では、北寄りからの波、水の流れ、の時は堆積、西寄りからのそれらの時は侵食となる傾向を示す。また、北寄りからの波、水の流れのあった後に大カスプの突出部の北東側、あるいは湾入部の南西側の前浜に多量なる礫の堆積を必ず見る事ができる。この事は、度々の観察で確証済みである。

$\sigma\phi$ は、定点から北東へ約 160m の地点付近で極小値を示し、V 字型の傾向をしている。前述の極小値を示す地点より、少し南西側へ移動しているのがわかる。このように、この地点付近の淘汰が極めて良い原因は、前述の $Md\phi$ の所で論述した事情に加味して、地形形状にもある。それは、大カスプの突出部で傾斜が緩く、小カスプの形成が汀線に近く、波長が短く、比高が小さい、等等のいくつかの要因が重なってそうなのだろう。そのうえ、主要成分が極粗砂のうちの粗粒側の組成であって、堆積しやすく移動しやすい

性質（内山, 2010）がそうさせたのだ。定点～定点から北東へ約 240m の地点間は、大部分の値が大きく、淘汰が非常に悪い。この区間の極高点と極低点の値の差異による傾向は認められない。この区間の小カスプは、全体の三分の二位が南西側に位置していて、北からの波の場合は、やや影になる部分に当たり、弧状沿岸砂州接合部の極浅部を回り込むようにして、エネルギーが弱まった状態で汀線に進入し、砕波する事になる。もちろん、西からの波とオーバーラップし、ベクトルの合成も起る。溯上する水に乗って、それぞれに堆積し混合するが、主要成分の極粗砂よりも細粒な粗砂である。それらの行動が淘汰を悪くしたのだろう。定点から北東へ約 280m の地点～北東へ約 400m の地点間は、2 丸で極めて淘汰が悪く、そのうち、1 丸は極高点で、もう 1 丸は極低点であり、半半となる。その他のいくつかの丸は安定した値を示し、淘汰が良い。この区間の汀線は波が来る方向に面している事や、礫、粗粒成分の堆積場が水の流れて来る方向に面している事、等等が分級作用を促進させる方向に導いたと思う。ややもすると、極低点の方が極高点より、淘汰の良い事で勝っているような気がする。

$\alpha\phi$ は、前述で、 $Md\phi$ と $\sigma\phi$ の値がそれぞれ極小値を示した地点付近が、 $\alpha\phi$ の場合に、定点から北東へ約 240m の地点～北東へ約 300m の地点間に相当し、5 丸が負に、2 丸が極めて 0 に近い正に、それぞれシフトする。 $Md\phi$ と $\sigma\phi$ の所で論述したような、それぞれの行為を受ける事により、分布曲線の負側、あるいは正側、のどちらかの“tail”の長さによって決まる。定点～定点から北東へ約 240m の地点間は、4 丸が負にシフトし、そのうち 1 丸が極高点、3 丸が極低点である。他の全丸が正にシフトし、極高点と極低点の差異による傾向は認められない。定点から北東へ約 300m の地点～北東へ約 400m の地点間は、3 丸が負にシフトし、そのうち、1 丸が極高点で、2 丸が極低点である。他の全丸は、頻度が小さいながら正にシフトとなる。このように、 $Md\phi$ や $\sigma\phi$ で論述の動作が行われる事と、その二つとの関係やリンクしている自然界のそれぞれの営み、相互のバランスの上で初めて、 $\alpha\phi$ が生み出される事がわかる。後述の $\beta\phi$ についても同様である。

$\beta\phi$ は、 $\sigma\phi$ と逆相関の傾向を示して、1 丸、1 丸、凝視して見比べると一層、明瞭となる。

大カスプの湾入部において (Fig. 15)、 $Md\phi$ は、定点～定点から北東へ約 240m の地点間で $-0.75 \sim -0.1$ の値を示し、幅の広い値の変化をしている。大体、極高点の値が下側の粗粒ぎみ、極低点の値が上側の細粒ぎみ、といった傾向のようだ。要は、この区間では、全体で主要成分を極粗砂の組成であるが、極高点

のやや小礫に近い極粗砂の組成と極低点のやや粗砂に近い 2 丸, および極粗砂の中間位の 4 丸, とそれぞれ組成する。海岸線が北寄りからの波, 水の流れ, に面している, しかし, 西寄りからのそれらにとっては影になる箇所だ。従って, 先述のように, この時期まだ, 北寄りからの波, 水の流れの頻度が高い故に, 当然, 北からはそれ程大きくない波がやって来る。また, 西からも頻度は低いが来る。その途中, 弧状沿岸砂州接合部の極浅部の上を通るため, 屈折し, エネルギーの低下は免れない。それでも, 西からの波の場合は, 元々, エネルギーの閾値が高い事により, 汀線の手前で北からの波とオーバーラップをし, ベクトルの合成が行われる。そのうえ, この箇所は弧状沿岸砂州の中心部であって, Nearshore, 前浜, と急傾斜である。このため, 砕波する際には猛烈に発達し, 溯上する水は粗粒成分や礫を乗せて一気に, その極高点を駆け上がる。粗粒成分を極高点付近に滞留させ, 礫は水の行き着く箇所の傾斜護岸の根元に堆積となって, 水も同地点で滲透となる。一方, 極高点の少し汀線寄りで分割となった溯上する水は, 極低点を通るしか道はない。極高点の両側の極低点は傾斜が緩くなっている, 水は一段と勢いを増して上がる。勢い余って, 傾斜護岸の中程まで行き, 戻り水として極低点を通り, 海へ流出する場合もある。このような, それぞれの動作に従って粒度組成が決まってくるのである。定点から北東へ約 240m の地点～北東へ約 450m の地点間は $-0.7 \sim -0.5 \phi$ の値で, 変化の幅が狭い。主要成分が極粗砂で, このうちの粗粒成分で組成している。この区間は, 北寄りからの波, 水の流れに対して, 影になる箇所となり, この時期の北からの波は, 西からの波と違って, 大きく発達する事はない。そのうえ, 北東側すぐ隣に位置する弧状沿岸砂州接合部の極浅部の上を通るため屈折し, エネルギーを低下したままの状態で汀線の手前までやって来る。一方, 西からの波は弧状沿岸砂州中心部の Bar の上を通り, 屈折し, エネルギーの低下も免れない。しかし, 中心部の Bar は接合部の極浅部よりも水深が深く, また, 弧状になっていて, 屈折して焦点に向う波と直進する波とが出現する事になる。この直進してきた波が, 北からの波と汀線の手前でオーバーラップをし, ベクトルの合成が行われる。この時点で急激に発達し, 砕波し, 溯上する。元々, 西からの波はエネルギーを蓄積していて閾値が高い事から, 弧状沿岸砂州中心部の Bar の浅い箇所を通して屈折し, 減衰しても, 北からの波とオーバーラップをし, ベクトルの合成を起す事により, Nearshore の急傾斜にさしかかる時は急激に発達するのである。要は, この区間で値の変化の幅が広い事や, 極粗砂のうちの粗粒側の成分の組成である事

から, 平均して安定な, 前区間のような溯上した時の水の動作が行われた事と思う。

最後に見方を変えて熟考してみる。まず, 極高点だけを線で結んで, 次に極低点のみでもそうしてみる。すると, 全体から見た両者の値の変化の傾向がそれぞれ明瞭に見える。極高点は $-0.72 \sim -0.52 \phi$ の間を値が変化し, その幅は狭く, 不規則に上下を繰り返す。全体が主要成分の極粗砂のうちの小礫に近い砂の組成となっている。この事から, 大カスプの湾入部に形成の小カスプの極高点に対して, 平均的な安定した波, 水の流れの作用が施されたものと思われる。極低点は $-0.71 \sim -0.12 \phi$ の間を値が変化し, 幅も非常に広い。極大値を示す値も四つあり, それらの値に伴って山も四つ出現する。山の高さ, 大きさも北東側へ向って縮小, 山と山のスパンも, 約 150m, 約 80m, 約 70m という具合で, 北東へ向って狭くなっている。このように, 極低点に対して, 北東から定点の方へ収束するように波, 水の流れ, が作用したのだろう。

$\sigma \phi$ は, 極高点だけを見ると, $0.31 \sim 0.33$ の値の変化で, 大部分が一直線上に並んでいるようだ。2 丸だけ, 値が大きく, $0.39 \sim 0.41$ 間の変化をする。大変淘汰が良く一定の値を示すのは, 極高点に対して波, 水の流れ, が平均して安定であり, 分級作用もそのように施されたからだといえるだろう。一方, 極低点だけを見ると, $0.26 \sim 0.67$ の値の変化で, 非常に変化に富んでいる。先程の $Md \phi$ の極低点で, 山が四つできていて, 定点から北東へそれが小さくなっている事だったが, $\sigma \phi$ においても同様な感じがするようだ。つまり, 主要成分の極粗砂の中で, そのうちの 0ϕ に近い細粒成分が混合してくると, 分級作用がその混合度合によって, 鈍ってくる事になる。波, あるいは溯上する水は, 湾入部の極低点に対し大きく関与して値を顕著に変化させるが, 極高点に対しては安定していて, 一定のように思う。

$\alpha \phi$ は, 極低点の 4 丸が正にシフトし, 他全丸と, 極高点の全丸が負にシフトしている。極低点の 4 丸は $\sigma \phi$ の所で論述した, 四つの山のうちで, 定点から北東側へ 3 丸の極大値の位置に, それぞれ相当しているようだ。正にシフトする極低点の 4 丸については, 主要成分の極粗砂より, もっと細粒な成分が, もっと粗粒な成分より, それぞれ微量の範囲で勝って, 分布曲線の正側の “tail” を, 反対側のそれより長くした事でそうなった。負にシフトする大部分は, 前述の 4 丸と逆の動作が行われたのである。

$\beta \phi$ は, 定点～定点から北東へ約 300m の地点付近間で, 極高点と極低点共に, 値が乱変化している。定点から北東へ約 300m の地点付近～北東へ約 450m の地点付近間は両者共に, 安定した値で推移する。1 丸,

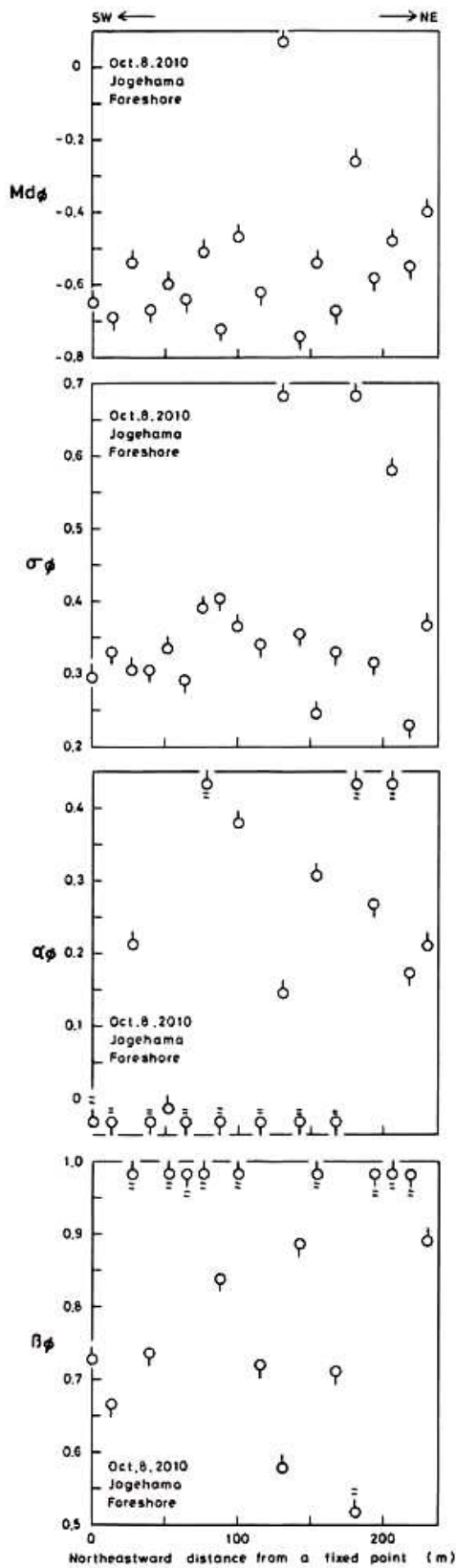


Fig.16 Each distributions of those grain size characteristics of the beach sediment, at both crests and troughs, of the small cusp. On the projection of the large cusp.

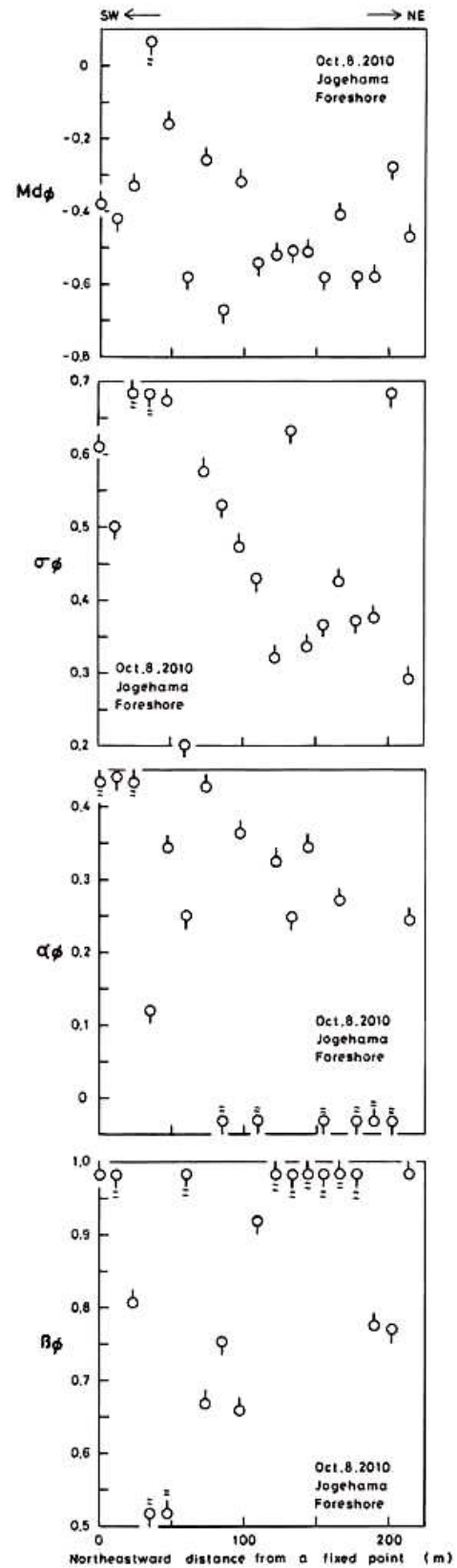


Fig.17 Each distributions of those grain size characteristics of the beach sediment, at both crests and troughs, of the small cusp. On the embayment of the large cusp.

1 丸, 凝視しながら, $\sigma \phi$ の値の全丸と相, 対比した時, 逆相関しているようだ。

(b). 2010 年 10 月 8 日

大カスプの突出部において (Fig. 16), $Md \phi$ は極高点で $-0.65 \sim +0.07 \phi$ の値の変化となっている。定点から北東へ約 130m の地点, および定点から北東へ約 180m の地点, の 2 地点の丸がそれぞれ極大値を示し, 急上昇, 急降下して, それぞれ大小の二つの山を形成している。傾向として, 北東へ向って, やや, 右肩上がりようだ。極高点の値の全丸は, 極低点のその全丸の上段の座を維持している。大小, 二つの山を形作る一角の極大値は, 主要成分をそれぞれ, 粗砂と粗砂に近い極粗砂で組成する。その 2 地点の位置は, 突出部の中央地点と北東側へ寄った地点である。この時期, まだ夏季の終盤であって, 北寄りからの風, 波, 水の流れ, の頻度が非常に高い。この弧状沿岸砂州接合部, 中心部には多量の細粒成分が堆積している事がわかる (Fig. 3, 4, 5)。特に接合部には, 輪を掛けて多い。(内山, 2004) の同地点の海底地形図と見比べて, 大変な変わりようである。柿崎川河口の回収工事が 2009 年 4 月に始まり, 2010 年の夏季には終わった, と聞いている。恐らく, その回収工事の残留土砂が, 北東からの沿岸流に乗って流れて来て堆積したのではないだろうか。この事については次回に証明したいと思う。前述の大きな山の形成で, 極大値を示す丸の説明は, 北からの波が接合部の極浅部の上を通る時に屈折し, 衰退するが, この後, 極深部に来て少し発達するだろう。汀線の手前に差掛って, わずかな西からの波とオーバーラップをし, ベクトルの合成により発達する。砕波してから, 湾入部の前浜の傾斜より緩やかなので, 水はゆっくり溯上して, 主要成分の粗砂を中心とした細粒成分を極高点に運び上げて, 混合する事により, このような組成になったものと思う。もう一つの小さい山で極大値を示す地点は, 北東側へ少し移動になり, また, 北東側隣の湾入部に差掛ってもくる。従って, 北からの波は汀線の手前まで真直ぐ入って来て, 極浅部で屈折した西からの波とオーバーラップをし, ベクトルの合成が起り, 前述の波のエネルギーよりも上手となる。このため, 極粗砂の中でも, 細粒ぎみな砂を極高点に運び上げて混合するので, このような状態になった。定点～定点から北東へ約 110m の地点間の 5 丸は $-0.65 \sim -0.47 \phi$ の値で, 北東へ向ってジグザグと徐々に値を大きくしている。この地点間の海浜は, 突出部の中心より南西側に位置する, と共に, 南西側すぐ隣の湾入部の一部でもある。従って, この時期まだ小さな波が西からやって来て, 弧状沿岸砂州中心部の Bar の上を通ると多少屈折し, 次に, Trough を通り少し発達し, 汀線の

手前まで来る。ここで, 北からの波が, 弧状沿岸砂州接合部の極浅部で大きく屈折して, 突出部の前面を回り込むように, 汀線の手前の浅い箇所にとどろく。そこで, 西, 北からの波はオーバーラップを起し, ベクトルの合成で発達し, 砕波に至る。それで, 極粗砂のうち粗粒側の砂を極高点に運び上げて混合する事から, 図のような組成となった。定点から北東へ約 200m の地点～北東へ約 230m の地点間の 2 丸については, 定点から北東へ約 180m の地点付近の極大値を示す丸が組成した場合と類似した, 西, 北からの波の作用を受けて, 図のように組成したのだろう。

極低点では, $-0.75 \sim -0.55 \phi$ の値を変化する。全体の傾向は, 極高点の全体の値よりも下段に位置し, ジグザグと上下を繰返しながら北東へ向って, 右肩上がりで細粒化している。西からの波と北からの波の両方のエネルギーのバランスによって, ここでは, 粒度組成が決まってくるようだ。その意味で, 北東から定点へ近付くにつれて, 西からの波がエネルギーの面で優勢に作用し, 動作が行われたために, 極粗砂のうちの粗粒側の組成になったものと思われる。それに加担して, この小カスプの地形で, 波長がある程度長く比高は小さい, 傾斜が緩やか, 等も見逃せない。この粒径の砂は, 堆積しやすく, 移動しやすい性質があつて (内山, 2010), 緩い傾斜のところに, 強く溯上する水により大きく浮力が働いて, 運び上げられ, 混合する事により, そのような組成になったものと考えられる。

$\sigma \phi$ は極高点において, 前述の $Md \phi$ で極大値を示した 2 丸と同地点で, $\sigma \phi$ もそれぞれ極大値を示し, 二つの山を形成している。この二つの極大値の, それぞれ前後の丸の値は, 急上昇, 急降下の状態だ。定点から北東へ約 100m の地点～北東へ約 230m の地点間は, 大カスプの突出部の中央よりも北東側に位置している事で, 西からの波は弧状沿岸砂州接合部の極浅部の上を通り, 屈折, エネルギーを落として, 突出部の前面を回り込むように汀線の手前までやって来る。一方, 北からの波は弧状沿岸砂州中心部の Bar の上を通り, 少しだけ屈折, エネルギーを衰退させて汀線の手前まで来る。ここで, 両方向からの波がオーバーラップしてベクトルの合成を行う事によって, 大きく発達して砕波する事になる。溯上する水が極高点に対して, それぞれ作用する動作に斑ができて, 極端である事がわかった。つまり, この区間の極高点で, どのような動作だったかという点, 元々, 極高点には主要成分の極粗砂のうち, 粗粒ぎみな砂が多量, 堆積しているが, そこへ, 発達して大きなエネルギーを持って溯上した水が, 極粗砂のうちの細粒ぎみな砂や極粗砂に近い粗砂, 等を中心にした細粒成分を極高

点に運び上げる。今まで堆積していた、主要成分の極粗砂のうちの粗粒ぎみな砂や粗粒成分・礫は、極高点から後浜より約 6m の所の窪み付近に追いやられて堆積する。このように、極大値を示す極高点には、多量の極粗砂のうちの細粒ぎみな砂や極粗砂に近い粗砂または細粒成分が堆積し、混合する事で主要成分を成し、淘汰を極めて悪くした。一方、この区間で極めて淘汰を良くした地点の極高点では、発達して溯上した水が、この極高点まで到達したか、しないかくらいで、ほとんど極低点の方へ流れたのではないか。従って、後述の $\alpha \phi$ が正にシフトしている事から、主要成分より細粒な成分を微量だけ運び上げて混合するが、元々、残留していた極粗砂のうちのやや粗粒ぎみな砂が主要成分を成す事により、淘汰を極めて良くしたのである。定点～定点から北東へ約 80m の地点間の 4 丸は、北東へ向って右肩上がりで変化し、淘汰が悪く推移する。平均して安定したバランスのとれた、溯上する水の作用を受けたものと思う。

極低点において、定点から北東へ約 10m の地点～北東へ約 90m の地点間で、4 丸が小さい V 字型の変化をしている。この区間は突出部でありながら、南西側隣の湾入部の一部でもある。この事から、西からの波と北からの波が汀線の手前でオーバーラップし、ベクトルの合成の時に、バランスの崩れた状態で碎波し、溯上した水がこれらの極低点に作用したと思う。後述になるが、この 4 丸の $\alpha \phi$ は負にシフトしている事から、残留している小礫に近い極粗砂のうちの粗粒な成分か、あるいは砂が、どれだけの量を水が運んで付加して、混合するかによって、 $\sigma \phi$ の値を決めているように思う。このような事は、極低点で、傾斜が緩いからこそ見えてくる事象である。定点から北東へ約 110m の地点～北東へ約 220m の地点間は北東へ向って、緩やかに値が小さくなって行く。後述になるが、この区間の 5 丸の $\alpha \phi$ のうち、定点側の 3 丸が負に、北東側の 2 丸が正に、それぞれシフトしている事から、西からの波、北からの波が互いに安定して、バランスよく、これらの極低点に対して作用したようだが、それぞれの主要成分よりも、粗粒あるいは細粒な成分が、またどれだけの量が、運ばれて付加し、混合するか、というその“さじ加減”でそれらの $\sigma \phi$ の値が決まる気がする。

$\alpha \phi$ は、極高点において、定点付近の丸と定点から北東へ約 50m の地点付近の丸、の 2 丸が負にシフトして、他の全丸が正にシフトしている。一方、極低点においても、定点から北東へ約 190m の地点付近の丸、定点から北東へ約 220m の地点付近の丸、の 2 丸が正にシフトして、他全丸が負にシフトする。このように、負側あるいは正側に歪むのは、Md ϕ 、 $\sigma \phi$ の所で詳細

な論述のごとく、大カスプの突出部、極高点、極低点、等という場所の条件の元で、波、水の流れ、からそれぞれ、いろんな作用を受ける事で決まる。主要成分よりさらに粗粒な、あるいは細粒な、微量な成分が分布曲線の負あるいは粗粒側に、正あるいは細粒側に、その反対側よりも長い“tail”を持つ事が、その方に歪む要因なのである。つまり、これらの $\alpha \phi$ の値がどちらかに歪むのは、Md ϕ 、 $\sigma \phi$ 、 $\beta \phi$ 、等の、いろいろなファクターとリンクして、微妙なバランスの上で動いているが、それらの微妙な食い違いによって決まってくる。

$\beta \phi$ は、極高点において、定点から北東へ約 130m の地点付近の丸と北東へ約 180m の地点付近の丸が、 $\sigma \phi$ では極大値を示し、二つの山を形成した。それらの丸が $\beta \phi$ では、二つそれぞれ極小値を示し、深く落ち込んでいる。それぞれ、1 丸、1 丸、注視して $\sigma \phi$ の値と見比べると、逆相関している事がわかる。極低点においても同様に、 $\sigma \phi$ の値とは逆相関しているようだ。

大カスプの湾入部において (Fig. 17)、Md ϕ は極高点で、定点から北東へ約 50m の地点付近と北東へ約 170m の地点付近のそれぞれ 2 丸で極大値を示し、二つの大小の山の形成が見られる。定点～定点から北東へ約 100m の地点付近間の 5 丸は、主要成分を極粗砂のうちの細粒ぎみな砂で組成するが、大きい山の極大値を示す丸は、粗砂に近い極粗砂でそれを組成する。この区間の位置は、観測した小カスプ全体の中央から南西側で、そのすぐ隣の突出部の一部でもある。従って、西からやって来る波は南西側隣の弧状沿岸砂州接合部の極浅部の上を通して屈折し、またある程度衰退して、突出部の前面を回り込むように汀線の手前まで進む。一方、北からの波は弧状沿岸砂州中心部の Bar の上を通して少しか屈折し、エネルギーを落として汀線の手前まで来る。ここで双方の波がオーバーラップをして、ベクトルの合成が行われ、発達して碎波、溯上となる。この場所は湾入部で、極高点という事で、Trough から汀線までと、汀線から前浜の極高点まではそれぞれ急傾斜であり、おまけに、先述のように、小カスプの形成時は波のエネルギーの面で、絶頂期よりも衰退期に形成のようだ。このため、発達後、碎波して溯上した水は極高点まで砂・礫を運び上げて、そこに到達するのがやっとなのだ。あるいは、そのような動作は顕著に行われなかったのだろう。そのため、後述するが、この区間での $\sigma \phi$ の淘汰の悪さ、 $\alpha \phi$ の正にシフト、からみて、主要成分の極粗砂のうち、粗砂に近い砂、極粗砂に近い粗砂、それらよりも細粒な成分、等運び上げて混合する事で、主要成分と化し、図のようになったのだ。定点

から北東へ約 120m の地点付近～北東へ約 150m の地点付近間の 2 丸は、主要成分の極粗砂のうちのやや、粗粒ぎみな砂で組成している。後述になるが、この 2 丸の $\sigma\phi$ の値をみると、共に極めて淘汰が良いことから、粗粒成分を運び上げて混合する事で、それらの主要成分の組成になった。この 2 地点のある位置は、湾入部の中心からやや、北東寄りである事から、西からの波は、この湾入部に対応している弧状沿岸砂州中心部の Bar の南西側端の上を通る事になる。ここで屈折し、少し衰退するが、Bar の上を通る事から、それが凸レンズの様相を呈し、2 地点の汀線の手前で焦点を結び、それを目掛けて進む。元々、西からの波は先述のように、エネルギーの閾値が高い事から、自分自身で猛烈に発達するのかもしれない。一方、北からの波は北東側隣の弧状沿岸砂州接合部の極浅部の上を通り、大きく衰退し、屈折して突出部の前面を回り込むようにして、この 2 地点の汀線の手前までやって来る。ここで、双方がオーバーラップしてベクトルの合成が起り、砕波し溯上する水はこの 2 地点で、主要成分と成り得るだけの粗粒成分を運び上げて混合する。ここで、この 2 丸の $Md\phi$ が大体同値のようだが、後述のように $\sigma\phi$ 、 $\alpha\phi$ の値で、北東側の丸が南西側の丸より、それぞれわずかに、大きく、正側で大きく、となっている。この事から、主要成分の極粗砂のうちの粗粒ぎみな砂を、きっちり運び上げて混合し、付随して、主要成分より細粒な成分を微量、運び上げて混合した事だろう。北東側の丸の方が、混合する微量差で優勢となった事である。定点から北東へ約 160m の地点付近～北東へ約 220m の地点付近間の 3 丸で、一番南西側の丸が極大値を示し、前前地点間で大きな山ができたが、今度は小さな山ができています。後述になるが、 $\sigma\phi$ の値をみると、北東へ向って小さくなっている事から、その方向へ、西からの波は順次発達して、また北からの波は屈折を繰返して、衰退の一途をたどる。このように、主要成分となるだけの成分と量を運び上げて混合する事で、この状態になった。

極低点では大部分の丸が、極高点の値よりも下段に位置し、2 丸のみが上段に位置する。波が各箇所にもどのように作用するか、は極高点の所で詳細に論述したが、いずれにしても、南西側あるいは北東側に近づくにつれて、対する作用の仕方が緩慢になるようだ。この箇所は、極高点より傾斜が緩い事、比高が大きい事、前浜の裏側基部に傾斜護岸がある事、等で、粗粒成分が堆積しやすいが、また、細粒成分も同様である。極低点がちょうど水路ようになって、砕波して溯上する水はここを勢いよく流れ上がる。護岸の中程まで上ぼって、また、元来た道を流れ下り、海へ流出する流れもある。この事から、大きな浮力が働

き、大きな礫や粗粒成分が多量、運び上げられる。極低点を過ぎた所で、水は扇状になり、極高点裏の前浜基部の傾斜護岸との境目に、それらの堆積が見られる。極低点には、水の浮力によって運び上げられる粗粒成分が滞留する事になるが、戻り水による海への流出の際、多大なる分級作用を受けて細粒成分のみが残留する事から、2 丸の主要成分の値を大きくした所以である。

$\sigma\phi$ は、極高点において、定点から北東へ約 20m の地点付近、と北東へ約 170m の地点付近の 2 丸が、それぞれ極大値を示し、大きな山と小さな山を形成している。大体、極大値を示す丸の位置が、 $Md\phi$ のそれらと類似するが、定点側の極大値を示す丸の位置が 25m 位、定点の方へ寄っている。ここで、波が各小カスプに与える作用については、 $Md\phi$ の所で地点間に分けて詳細に論述したので省略する。定点～定点から北東へ約 90m の地点付近間で、一つの大きな山ができて、淘汰が悪い。主要成分が極粗砂のうちの細粒ぎみな砂である事と、後述になるが、 $\alpha\phi$ の値が正にシフトしている事から、主要成分よりさらに細粒な成分が、図のように淘汰を悪くする量だけ運び上げられ混合する事で、そうなった。定点から北東へ約 120m の地点付近～北東へ約 150m の地点付近間の 2 丸で、大変淘汰が良い。主要成分が極粗砂のうちの粗粒ぎみな砂であって、また後述になるが、 $\alpha\phi$ の値も正にシフトしている。この事から、主要成分の極粗砂のうちの粗粒ぎみな砂が多量、運び上げられて滞留するところに、それよりもさらに細粒な成分が粗粒な成分より微量分だけ勝って付加する事で、淘汰を良くした。定点から北東へ約 170m の地点付近～北東へ約 220m の地点付近間の 3 丸で、一番定点寄りの極大値を示す小さい山の頂点から北東へ向って、値が小さくなっている。3 丸共に主要成分が極粗砂のうちの粗粒ぎみな砂で、真中の丸のみ、 $Md\phi$ の値が粗粒側へ落ち込み、また $\alpha\phi$ の値も負にシフトする。北東へ向って、順次淘汰をよくして行ったが、主要成分を組成する時に、それよりもさらに粗粒な、あるいは細粒な、付加する成分の量で若干のバランスの擦れがあったものと思われる。

極低点では、数箇所の急上昇、急降下があり、大きな傾向は見つけにくい。また、 $Md\phi$ 、 $\alpha\phi$ の値との整合性もないようだ。波が砕波して溯上する水の極低点に対する作用の仕方、この地形の事、等で、主要成分の組成の際に、アンバランスな動作が続いたのだろう。

$\alpha\phi$ は極高点において、大部分の丸が正にシフトするが、1 丸のみ負にシフトしている。極低点では、4 丸が正に、5 丸が負に、それぞれシフトする。このよう

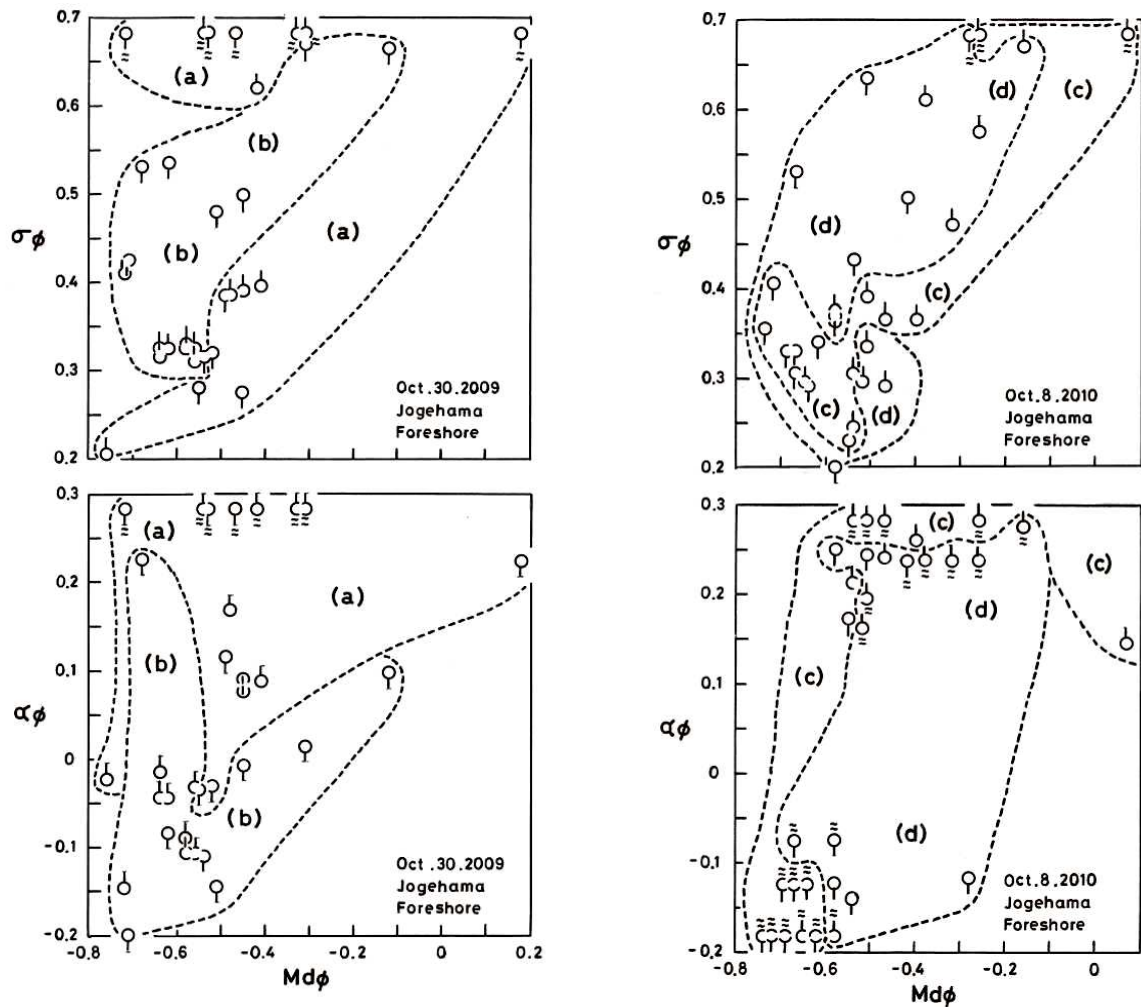


Fig.18-left, Fig.19-right The correlation between $Md\phi$ and $\sigma\phi$, $\alpha\phi$ of the beach sediment, at both those crests and those troughs, of the small cusps.

に、主要成分の組成の際、それよりも粗粒な成分、あるいは細粒な成分の微妙、微量な“さじ加減”によって、どちらかにシフトするか、が決まる。

$\beta\phi$ は極高点、極低点の区別なしで、全体を見た時、 $\sigma\phi$ の値との逆相関が見えてくるようだ。1丸、1丸、注視した場合、なお明瞭にわかるはずだ。

(3) 小カスプの極高点、極低点における、 $Md\phi$ と $\sigma\phi$, $\alpha\phi$ の相関関係

まず、(Fig. 18, 19) 内の記号を説明すると、(a) : 2009 年 10 月 30 日、大カスプの突出部での小カスプ、(b) : 2009 年 10 月 30 日、大カスプの湾入部での小カスプ、(c) : 2010 年 10 月 8 日、大カスプの突出部での小カスプ、(d) : 2010 年 10 月 8 日、大カスプの湾入部での小カスプ、とそれぞれ明記する。

(a). 2009 年 10 月 30 日 (Fig. 18)

(a) の区分では、 $Md\phi$ が $-0.76 \sim +0.18\phi$ の値を示し、極粗砂・粗砂で組成する。1丸の極低点が極粗砂に近い粗砂の組成で、他の全丸が極粗砂のうちの、粗

粒側か、あるいは、やや粗粒側の組成となる。 $\sigma\phi$ との関係でみると、粗粒側へ向って分級作用が顕著に落ちる、徐徐に進む、に大きく二分される。二分された中に、それぞれ、極高点と極低点が半半ずつの存在となる。また、湾入部での主要成分を組成する粒径の幅が、突出部のそれよりも少し狭い事もあり、粗粒側へ向って、湾入部の全丸を大きく包み込むようだ。このことから、突出部では、波、水の流れが小カスプに作用し、主要成分の組成の際には、すべて均等に動作が行われた事がわかる。 $\alpha\phi$ との関係では 3丸が負にシフトしていて、そのうち、1丸が極高点、2丸が極低点である。一方、他の全丸が正にシフトする。突出部の全丸が湾入部の全丸の上段に位置し、ちょうど覆い被さっているように見える。しかし、極高点、極低点の差異による傾向は全然見当たらない。

この時期、夏季から冬季への移行の変換点でもあり、やや、冬季の方が優勢になる事でもある。しかし、近くの役所や事業所のデータでは、北寄りからの風、

波、水の流れが優勢のようだ。例外ではなく、この小カスプの形成は、北からのあまり大きくない波によって形成されたに違いない。(Fig. 6, 7) の地形でわかるように、極低点よりやや北東側に小さな膨らみがある事から、西から大きな波が進入し、主要成分の組成に大いなる邪魔をした事だろう。汀線から近い位置にこの小カスプは形成されている事、波長が短い、比高が小さい、といういくつかの条件の下で、汀線から極高点、あるいは極低点までの傾斜は、突出部である事からも、緩やかで、相互の差はなかったようだ。従って、汀線の手前で北から、あるいは西からの波がオーバーラップし、ベクトルの合成を行って発達し、汀線で砕波し、溯上する時、極低点も水路のような水の勢いはない。極高点と同じレベルで、均等に砂・礫を運び上げる事になる。このような作用を受けてから次の動作の際に、主要成分の中心になる成分とそれの前後の成分量のバランスで、前述の $\sigma \phi$ の値が決まってくる。つまり前者が多くなると、淘汰が良くなり、後者が多くなるとそれが悪くなる。この $\alpha \phi$ の場合は、主要成分よりもっと粗粒な、あるいは細粒な、微量な成分が分布曲線の負あるいは粗粒側に、正あるいは細粒側に、その反対側よりも長い“tail”をもつ事が、その方に歪む理由となる。この小カスプに対して、均等に作用を与え、均等に動作を行ったにもかかわらず、微妙なバランスの偏りで、大部分が正にシフトする事になり、3 丸が負にシフトとなる。

(b) の区分では、 $Md \phi$ が $-0.72 \sim -0.12 \phi$ の値を示し、値の変化の幅が突出部に比べてやや狭い。このうちで、極高点の値が $-0.72 \sim -0.56 \phi$ と非常に変化の幅が狭く、安定して纏まっている。一方、極低点では、 $-0.71 \sim -0.12 \phi$ の値を示し、変化の幅が広く、斑のある、乱れた、不安定な作用を受けた事と思う。 $\sigma \phi$ との関係でみると、極高点で、主要成分を極粗砂のうちの、やや粗粒側の成分で組成していて、淘汰が極めて良い。1 丸だけ、分級作用が緩慢に行われたため、淘汰度を落としている。主要成分を粗粒側へ向って組成するにつれて、一定の、安定した分級作用を受ける事により、纏まって淘汰が良くなる。極低点では、主要成分を組成する粒径値の変化の幅が広いが、 $\sigma \phi$ についてもそうである。傾向は、主要成分を粗粒側へ組成するにつれて、徐々に淘汰を良くしている。1 丸だけ、前述の極高点が極めて淘汰が良い大部分のグループに紛れ込む、かっこうだ。斑のある、不安定な分級作用を受けた事がわかる。 $\alpha \phi$ との関係では、極高点で論述のように、主要成分を組成する粒径値の変化の事情から、 $\alpha \phi$ の値が全丸で負にシフトする事は納得がゆく。一方、極低点は 3 丸が正に、他全丸が負に、それぞれシフトする事になる。前述の突出

部での傾向と逆をゆく、類似な気がする。

この小カスプの地形は、というと、汀線からある程度離れた位置での形成、波長が長い、比高が大きい、等々が特徴となる。このため、汀線から極高点までは急傾斜であり、一方、極低点までは、前者よりは幾分、緩やかだ。しかし、突出部のそれらよりは急傾斜な事、間違いない。この事から、汀線の手前で、それぞれ違う方向から来た波がオーバーラップし、ベクトルの合成、等の行為をし、大きく発達して砕波する。溯上する水は勢いよく極高点までの急傾斜を、主要成分の極粗砂のうちの粗粒ぎみな砂を中心に、それよりも粗粒成分・礫、および細粒成分を添えて運び上げ、頂点で混合する。頂点まで辿り着いた水は加速度もあり、勢い余って、大きな浮力を発揮したまま、礫や粗粒成分を前浜と傾斜護岸との境目あたりに堆積させる。頂点では水の往復がなく、運び上げて混合する事と同時に分級作用が激しく行われる事で、淘汰を良くしたのではないだろうか。 $\alpha \phi$ とでは、常時、一定で安定な行為が続く事により、主要成分よりさらに粗粒な、あるいは細粒な成分が運び上げられて混合する。その中で分級作用を受けて、微量であっても、粗粒成分が細粒成分より勝って、分布曲線上の負側の“tail”が長くなり、全丸の負のシフトに繋がる。極低点では、この小カスプの波長が長く、比高も大きい事、また、極高点よりも傾斜は緩やかである。溯上する水は勢いよく砂・礫を運び上げて、その地点に堆積、混合するが、また、それらの一部は水に乗って傾斜護岸の中程まで上がり、戻り水となって再びここを通る場合もある。また、溯上する水はここを通り過ぎてから扇状になり、運び上げた砂・礫を前述の境目に堆積させる行為もある。往復する水の分級作用の努力によって、主要成分の極粗砂のうちの粗粒ぎみな砂の量を増やしていくか、いなかによって、淘汰が良くなるか、悪くなるか、が決まってくる。また、それよりも粗粒な、あるいは細粒な微量成分が分布曲線上の負側、あるいは粗粒側の“tail”の方が、その反対側のそれよりも長い事で、図のようになった。3 丸については、その逆になる。

(b). 2010 年 10 月 8 日 (Fig. 19)

(c) の区分では、 $Md \phi$ が $-0.74 \sim +0.07 \phi$ の値を示し、変化の幅が広い。極高点だけで見ると、 $-0.65 \sim +0.07 \phi$ で値が変化する。一方、極低点では、 $-0.74 \sim -0.55 \phi$ の値を示し、非常に変化の幅が狭い。 $\sigma \phi$ との関係において、極高点では 2 丸だけ、主要成分を極粗砂のうちの粗砂に近い砂と極粗砂に近い粗砂でそれぞれ組成して、非常に淘汰が悪い。他の全丸は、主要成分の極粗砂のうちの粗粒ぎみな砂を組成して、変化の幅も狭く、非常に淘汰が良い。極低点では、全丸

が極粗砂のうちの粗粒ぎみな主要成分の組成で、淘汰が非常に良い。 $\alpha\phi$ との関係では、極高点の大部分が正にシフトし、1丸のみが負のシフトとなる。極低点は、極高点の値の変化の逆を行く型で、大部分が負にシフトするが、1丸のみ、正のシフトとなる。

この場所は突出部で、2方向から来た波は二つの行為により、ある程度発達する。次に碎波し、溯上するが、地形形状からいっても、一定な、安定した行為を与える事になる。主要成分を組成する中心の砂を多量、極高点および極低点に運び上げて混合する。それと共に、分級作用が顕著に行われた結果、大部分の淘汰が良く、極高点の2丸がそれを悪くしている。 $\alpha\phi$ については、主要成分が多量、運び上げられて混合する中で、主要成分よりさらに粗粒な成分や礫、あるいは細粒な成分、が微量な範囲で、分布曲線の負あるいは粗粒側、正あるいは細粒側、のどちらかの“tail”が、その反対側のそれよりも長く持つ事で、どちらかにシフトするか決まる。

(d)の区分では、 $Md\phi$ が $-0.67 \sim -0.16\phi$ の値を示し、変化の幅がやや広い。極高点で見ると $-0.58 \sim -0.16\phi$ の値で、一方、極低点では $-0.67 \sim -0.42\phi$ の値となる。 $\sigma\phi$ との関係で、極高点は主要成分である極粗砂の範囲の中で、細粒ぎみから粗粒ぎみへと移行するにつれて、急降下の状態で淘汰を良くする傾向がある。極低点では、極粗砂の範囲の中で、極高点全体の主要成分の値よりもやや粗粒側の位置で、それらの粗粒側縁を回り込むようにして、細粒側から粗粒側へ移行するにつれて、淘汰を良くしている。湾入部の大部分の丸が上段にあって、数丸で突出部の大部分の丸を、下段の淘汰の良い範囲で、抱え込むような恰好のようだ。 $\alpha\phi$ との関係で極高点を見ると、7丸が正に、1丸のみが負に、それぞれシフトする。極低点で3丸が正に、5丸が負に、それぞれシフトする事になる。

この場所は湾入部という事で、Nearshore から前浜の極高点までは急傾斜である。2方向からの波は汀線の手前で二つの行為により急激に発達し、汀線で碎波し、溯上する水が、勢いよく砂・礫を頂点まで運び上げて混合する。主要成分は極粗砂で、その範囲内を細粒側から粗粒側へ分級作用を受ける事によって、主要成分の中心に近付くように絞られる事になる。その動作の中で、主要成分よりさらに粗粒な、あるいは細粒な、成分が微量な範囲で、この場合は分布曲線の正、あるいは細粒側の“tail”が負、あるいは粗粒側のそれよりも微少長くした事で、ほとんどの丸を正にシフトさせた。粗粒成分と礫、等は、前浜と傾斜護岸の境目に追いやられて、堆積となるだろう。極高点を通る水は片道だけのため、前述のような事にな

るのだ。極高点で負にシフトする1丸については、負側、あるいは正側に微量分だけ、前述の大部分の丸と逆になったのである。一方、極低点は比高が大きい事もあり、極高点と比べて傾斜が緩い。砂・礫を運び上げる水は、水路を通るかのように勢いよく流れ上がる。極高点の手前で二分されてその両側の極低点を流れ上がるが、そこを過ぎたあたりの前浜と傾斜護岸の境目で合流となり、砂・礫の堆積となる。勢いよく極低点を真直ぐ進んだ水は傾斜護岸の中程まで上がり、またこの地点を通して海へ流出も時おりある。要は、極低点に往復で水が通る事から、2回の分級作用が行われる事になる。これにより、主要成分よりさらに粗粒な、あるいは細粒な、それぞれが微量だけバランスの偏りによって、分布曲線の“tail”の長さに反映する事で図のようなシフトとなったのである。

3.3 構成正規分布集団による解析

一般に、流体の作用のもとで堆積した細粒な岩屑の多くは、粒径の対数値に対する重量頻度がしばしば正規分布か、またはそれに近い分布をする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、粒径区分がいくつかの正規分布集団の合成からなっている。いくつかの図は、粒度分析の結果を、正規確率紙の横軸に 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。数本の線が引かれ、構成正規分布集団の分離が行われた事になる。

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

今回は、2010年10月8日に、大カスプの突出部において、汀線から小カスプの極高点を通る測線と極低点を通る測線、とそれぞれ2測線の延長上の後浜で採取の2試料について、集団解析を行う。この2地点の解析については、海岸砂丘と密接な相関関係がある事から、有益な知見が得られるだろう。また、2009年10月30日と2010年10月8日に、大カスプの突出部

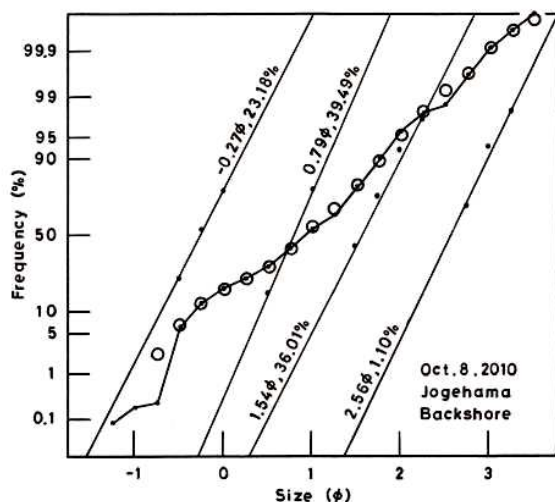


Fig.20 On the measuring line that goes through at the crest of the small cusp, from the shoreline to the backshore. On the projection of the large cusp.

と湾入部において、それぞれの小カスプの極高点と極低点、というように、数十試料を採取した。これらのうちで、大体、中央に当たる所の極高点、極低点の試料、全部で8試料について集団解析を行う。これらの小カスプが形成している場所は重要な役割を担っていて、海への砂・礫の収支は、大カスプ・小カスプ、のそれぞれを介して行われる事が知られている。この意味において、これらの集団解析により、海岸侵食の原因解明という難題に一矢を報いる形で、重要な知見が得られるようになるだろう。

(1) 2010年10月8日、大カスプの突出部の後浜

汀線から小カスプの極高点を通る測線の後浜 (Fig. 20) において、Md φ が、 -0.4ϕ の極粗砂を 34.0%、 0.9ϕ の粗砂を 25.4%、 1.6ϕ の中砂を 39.0%、 2.6ϕ の細砂を 1.6% で、それぞれ構成している。この場所は突出部の後浜である事から、この時期、砕波して溯上する水が、そこに到達する事はめったにない。従って前年の冬季に、大きな波が砕波し、溯上した水によって運び上げられて混合したか、あるいは、上下浜の海岸砂丘の一部が流出して、混合したのではないかと。ここで、上下浜の海岸砂丘砂の正規分布集団の構成 (内山, 2004) (Fig. 24) と、この場所の小カスプの極高点と極低点の集団の構成を相互に凝視して考えてみる。極粗砂は極高点と極低点で、80%以上を構成している事から、下から運び上げられて混合したのだろう。海岸砂丘が極粗砂の一部と粗砂の大部分を流出させて混合したようだ。中砂については、両方共に微量な構成のようなので、残留堆積物と認めると共に、冬季の時々溯上して来る水により、分級作用を受けて、構成の頻度の増減を繰返すのでは

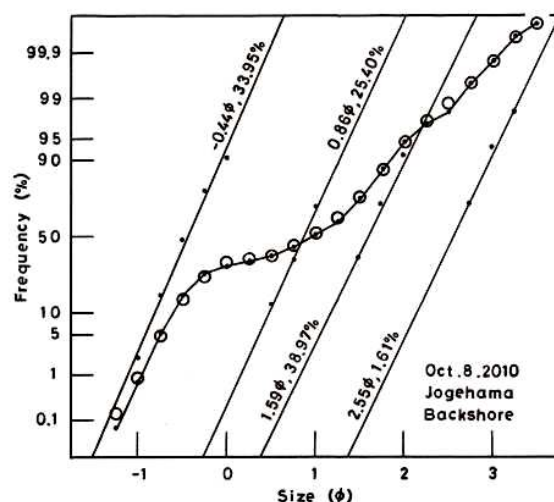


Fig.21 On the measuring line that goes through at the trough of the small cusp, from the shoreline to the backshore. On the projection of the large cusp.

ないだろうか。

汀線から小カスプの極低点を通る測線の後浜 (Fig. 21) において、Md φ が、 -0.3ϕ の極粗砂を 23.2%、 0.8ϕ の粗砂を 39.5%、 1.5ϕ の中砂を 36.0%、 2.6ϕ の細砂を 1.1% で、それぞれ構成する。この測線は、前述の測線より傾斜が緩やかで、溯上する水は極低点を過ぎた付近から扇状になる。しかし、比高が小さいながらも、一応、水路のような様相を呈し、一直線に砂・礫を運び上げるに違いない。この事から、極粗砂については、大部分が前浜から運び上げられて、一部は海岸砂丘から流出して、それぞれ混合したようだ。粗砂は、大部分が海岸砂丘砂の流出によって混合したのだろう。中砂は両者共に微量か、あるいはないので、前述のように残留堆積物と認め、時々、分級作用を受けて構成の頻度の増減となるだろう。

(2) 2009年10月30日、小カスプ

大カスプの突出部における小カスプの極高点で (Fig. 22) , Md φ が、 $-0.8\sim -0.4\phi$ の極粗砂を 93.7%、 0.7ϕ の粗砂を 5.7% で、それぞれ構成する。極低点で (Fig. 23) , Md φ が、 -1.7ϕ の小礫を 3.6%、 -0.7ϕ の極粗砂を 61.2%、 0.9ϕ の粗砂を 9.2%、 1.7ϕ の中砂を 23.4%、 2.6ϕ の細砂を 2.3% で、それぞれ構成している。

極高点において、単独で極粗砂を 90%以上の構成である事から、溯上する水により運び上げられ、混合したに違いない。この小カスプの形成状態は、汀線に近く、波長が短い、比高が小さい、等の理由で、汀線から極高点までの傾斜は緩い。このため、最大限の浮力が働き、そのうえ、移動しやすく堆積しやすい砂 (内山, 2010) である事から、その構成になったのだろう。

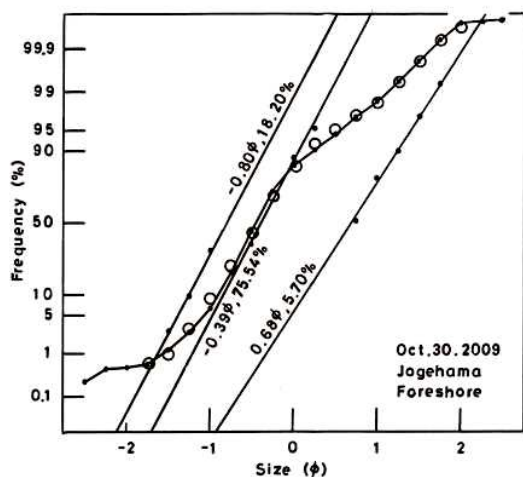


Fig.22 At the crest of the small cusp /
On the projection of the large cusp

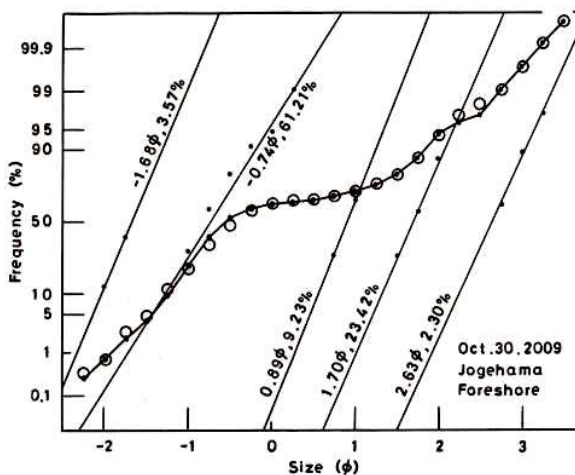


Fig.23 At the trough of the small cusp /
On the projection of the large cusp

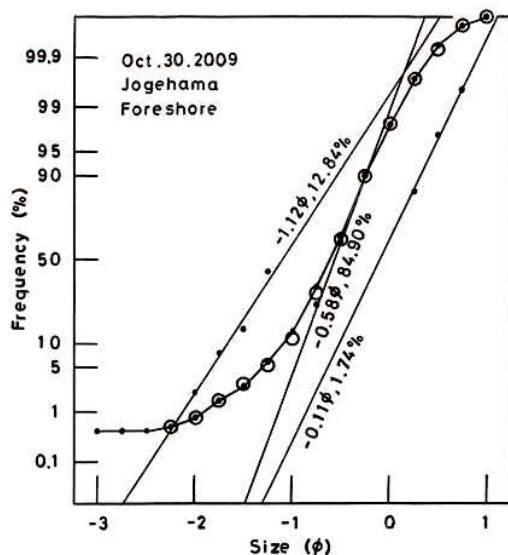


Fig.24 At the crest of the small cusp /
On the embayment of the large cusp

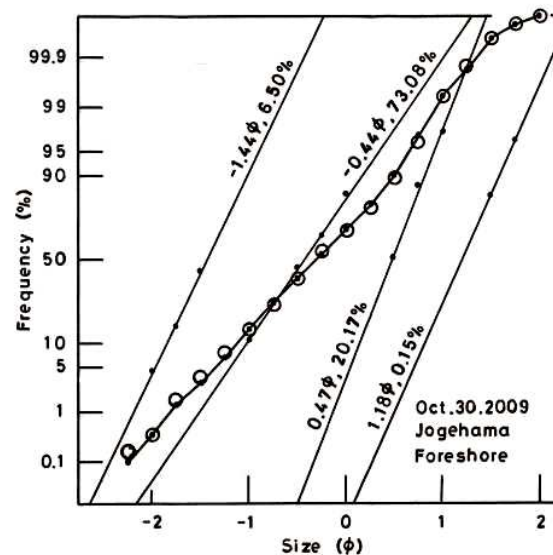


Fig.25 At the trough of the small cusp /
On the embayment of the large cusp.

一方、極低点では極粗砂が 61%の構成で、かろうじて主要成分の座を維持したが、中砂の 23%の構成には気になる。これは、柿崎川河口の砂の回収工事が 2009 年度 4 月から始まっており、それが、北東から南西へ向う沿岸流によって運ばれて、弧状沿岸砂州の各部所に多量、堆積したのではないかと推察される。多分、2009 年 10 月頃の海底地形は、(Fig. 3, 4, 5) の 2010 年 11 月 7 日に測量、と類似した様相を呈したような気がするが、それはわからない。この時、採取した試料の主要成分と河口のそれと同一のようなので、極低点に運び上げられて混合する事で、そのような構成になったと思う。また、先述のごとく、2010 年 10 月 8 日の突

出部の後浜で、中砂が 30~40%の構成である事から、多分、2009 年 10 月 30 日もそれくらいの構成だった、と予想して、その一部が流れ下り、極低点で混合する事により、その構成になったのではないかと推察される。

大カブの湾入部における小カブの極高点で (Fig. 24) , $Md \phi$ が、 -1.1ϕ の小礫を 12.8%、 $-0.6 \sim -0.1 \phi$ の極粗砂を 86.6%で、それぞれ構成している。極低点で (Fig. 25) , $Md \phi$ が、 -1.4ϕ の小礫を 6.5%、 -0.4ϕ の極粗砂を 73.1%、 0.5ϕ の粗砂を 20.2%、 1.2ϕ の中砂を 0.1%で、それぞれ構成する。極高点では、汀線との間が急傾斜であるため、また、波も猛烈に発達して砕波し潮上する事になる。従っ

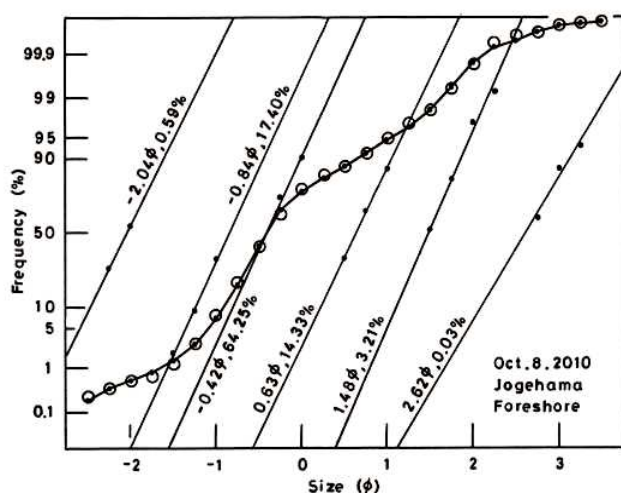


Fig.26 At the crest of the small cusp /
On the projection of the large cusp.

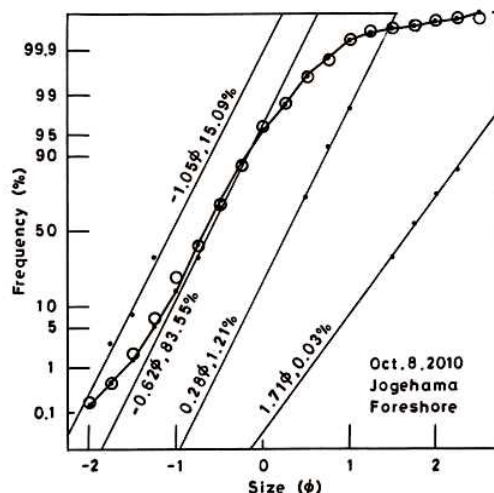


Fig.27 At the trough of the small cusp /
On the projection of the large cusp.

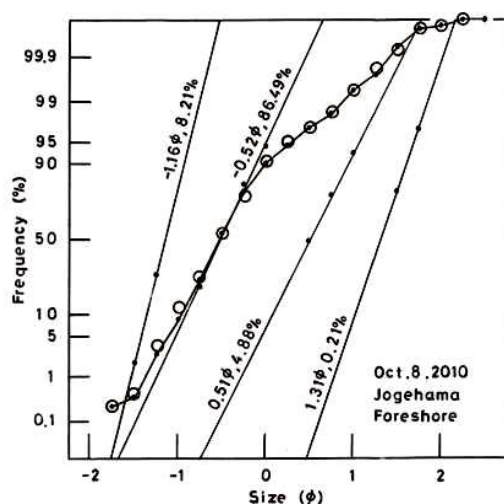


Fig.28 At the crest of the small cusp /
On the embayment of the large cusp.

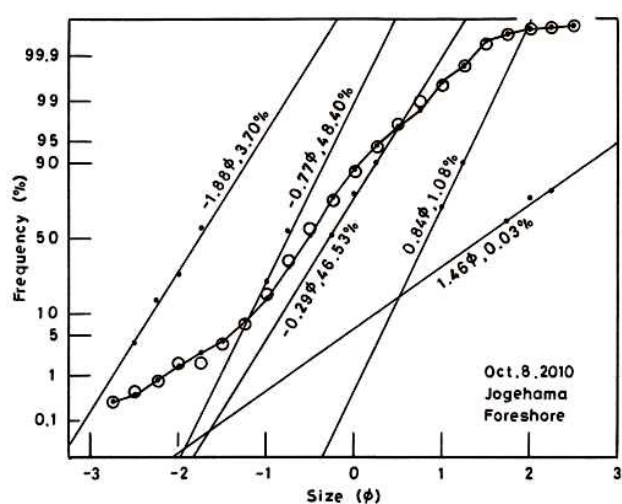


Fig.29 At the trough of the small cusp /
On the embayment of the large cusp.

て、大きな浮力を発揮して、粗粒ぎみな砂、礫を運び上げて混合する事になる。小礫よりもっと大きな礫成分は極高点に微量だけ混合する事になるが、集団の構成の域に達し得ず。大きな礫等は勢い余って、その地点のすぐ裏側の前浜と傾斜護岸との境目に転がって行って堆積となるだろう。極低点において、汀線から離れた位置にある事、波長が長く、比高が大きい、等の事情から、水路のような状態の所を水によって、砂・礫が運び上げられる。この地点には往復で水が通る事から、下から運び上げられ、上から流れ下って来る事で、また、2回の分級作用も受ける。よって、このような集団の構成になったと思う。

(3) 2010年10月8日、小カスプ

大カスプの突出部における小カスプの極高点で

(Fig. 26) , $Md \phi$ が、 -2.0ϕ の中礫を 0.6%、 $-0.8 \sim -0.4 \phi$ の極粗砂を 81.7%、 0.6ϕ の粗砂を 14.3%、 1.5ϕ の中砂を 3.2%で、それぞれ構成する。極低点で (Fig. 27), $Md \phi$ が、 -1.1ϕ の小礫を 15.1%、 -0.6ϕ の極粗砂を 83.6%、 0.3ϕ の粗砂を 1.2%で、それぞれ構成している。極高点では、極粗砂が 80%以上の集団の構成をして、妥当なところだろう。この地点の後浜でも、極粗砂が主要成分の座についているわけではないが、ある程度の頻度で集団を構成している。後浜の基部に形成の海岸砂丘には、ある程度の高い頻度で集団を構成しているが、極高点に対しては、後浜を介して集団の構成に微量だけ貢献した事だろう。大部分が溯上する水によって運び上げられ混合したようだ。粗砂、中砂については、上から流れ下だ

る、下から運び上げられる、の二つの関与によって極高点で混合し、それぞれの集団の構成に繋がったのだらう。極低点では、極粗砂が80%以上の集団の構成で、常道であろう。問題は小礫だが、この地点より上の後浜にも、海岸砂丘にも、集団の構成がない事から、下から運び上げられての混合としか考えられない。

大カスプの湾入部における小カスプの極高点で (Fig. 28) , $Md\phi$ が、 -1.2ϕ の小礫を 8.2%、 -0.5ϕ の極粗砂を 86.5%、 0.5ϕ の粗砂を 4.9%、 1.3ϕ の中砂を 0.2% で、それぞれ構成している。極低点で (Fig. 29) , $Md\phi$ が、 -1.9ϕ の小礫を 3.7%、 $-0.8\sim -0.3\phi$ の極粗砂を 94.9%、 0.8ϕ の粗砂を 1.1% で、それぞれ構成する。極高点において、Trough から汀線まで、汀線から極高点まで、と急傾斜である。そのうえ、波は猛烈に発達して、極粗砂を中心とする多量の砂・礫を運び上げる。また、先述になるが、湾入部、突出部のそれぞれの小カスプの極低点よりやや南西側に小さな膨らみがある事から、北からの大きな波が汀線に対して、その角度を保ったままの状態、砂・礫を多量、運び上げた事だろう。そこで、前述のような集団を構成する頻度の分だけ堆積し、混合する。勢い余った水に乗って、この地点の裏側の前浜と傾斜護岸との境目に堆積する砂・礫も出現する。要は、下から運び上げられるのみで、上からの供給はないようだ。極低点では、小カスプの形成の位置が汀線から離れている事、波長は然程長くはなく、比高は大きい、等等の条件のもとで、極粗砂を中心に砂・礫を多量、運び上げたと思う。砂・礫を運び上げる水は、この小カスプの比高が大きいため、ちょうど水路を流れるかのような勢いで、この地点を過ぎたあたりで扇状となり、前浜と傾斜護岸の境目にそれらを堆積させる。一方、直進する水は傾斜護岸の中程まで追いつき、護岸と護岸の繋ぎ目から落ちて滲透する水もあるが、また、護岸を下だり降りて、極低点を通る水もでてくる。このように、この地点には、往復2回、水が通る事により、前述のようなそれぞれの砂・礫が集団を構成する、とともに、分級作用も活発に行われる原因にもなり得る。

4. 結語

自然の節理に従って、あらゆる事象とリンクし、バランスをとりながら、常に動いている。針の穴くらいの微小な、バランスのくずれから始まり、不安定化が進んで行って、人間生活の営みに拘るようになると、自然災害に到達という事になる。その意味において、すべて、観測・調査は、人の手で行った。先に図示したような海浜地形を得るための測量の際は、一人で、

手早く、正確に、行うのに都合がよいように、アルキメデスの原理による測量器具を考案した。また、海浜底質の採取の際には、大カスプの突出部と湾入部で、それぞれ、小カスプの極高点と極低点というように交互に、数十地点で一定量の試料採取を行った。この多量の試料を回収し、車の所まで運び上げるのが大変な作業であった。この粒度分析においても、変質するのを防ぐために陰干で、自然乾燥し、均質に処理して、 $1/4\phi$ の標準フルイを用いて、高精度で、丁寧にを行った。図面に関しても、人の手で描いている事から、この最中に、どのように動いているか、熟考しながら描いた。このような姿勢からして、真実に限りなく近い知見が得られたのではないか。また、自信のある論述ができたのである。

(1) ビーチカスプの地形

ビーチカスプには、大カスプと小カスプの二種類がある。いずれも、リンクしているすべてのファクターにおいて、自然のバランスがとれているが故に、形成されるものである。

大カスプは、“汀線の出入り”として観測され、それぞれ突出部、湾入部と定義される。このような現象を示す海岸を波状海岸と言う。突出部は弧状沿岸砂州の接合部に、湾入部はその中心部に、それぞれ対応し、対をなして移動するものと考えられる。波長は、バランスのとれた自然な海岸の場合は、大体 300m 前後とされている。第一義的な要因としては、砂・礫海岸である事である。その事によって、沿岸流、離岸流から受ける浮力、分級作用に格差を生じ、砂・礫の移動や堆積に差が出て、弧状沿岸砂州の形成、変異と先行するのである。それに追従して、大カスプの二つの部が形成され、変異する事になる。

小カスプは、波が汀線で碎波し、溯上する、これらの諸条件により、汀線から後浜の方向へ一定の距離の地点を、汀線に沿って、山と谷が交互に、一列に形成される。この山の頂点を極高点、谷を極低点と言う。波長は、小カスプの形成の位置が、汀線から離れるにつれて長くなる傾向、となる。従って、大カスプの突出部に進入する波は、湾入部でのそれより弱めであるため、汀線近くに形成しやすい。このため、湾入部でのそれより短い傾向がある。小カスプの形成の位置は、絶頂期の波が碎波して溯上する水の到達する最高地点と汀線の間位に形成されるようだ。湾入部では、突出部でのその傾向は当てはまらず、傾斜護岸をよじ上った分を加算しないといけない。そのため、明瞭な傾向は出ていない。比高については、湾入部の方が断然大きい事がわかる。その極低点には、水が往復で通る事から、削る部分が大きいのである。条件としては、前述の事象のように、砂・礫海岸であ

る事が第一である。次に、前浜の傾斜角度は $7^{\circ} \sim 9^{\circ}$ が最適のようだ。形成の要因として、上下浜では夏季と冬季の相互の変換期に、北から、あるいは西からと、割合大きな波がやって来る。この二方向からの波が、汀線の手前でオーバーラップを起し、ベクトルの合成で猛烈に発達し、砕波して溯上する。その際、多量の砂・礫を運び上げ、また、大きく削るからである。これが小カスプ形成の真相ではないか。頻繁に、熟慮なる観察の結果、オーバーラップを起す箇所は、大体、小カスプの形成の波長ごとに発生する事から、この事に確証を得たのである。

(2) 大カスプの突出部と湾入部での海浜の粒度組成

突出部において、汀線から極高点と極低点を通る測線の $Md\phi$ は、汀線から後浜へ向って両測線共、値が大きくなって行き、右肩上がりで細粒化している。 $\sigma\phi$ は、両測線共に右肩上がりで、値が大きくなって行く。 $\alpha\phi$ は、前測線が 5 丸、後測線が 6 丸とそれぞれ正にシフトして、また、前者が 4 丸、後者が 2 丸とそれぞれ負にシフトする。 $\beta\phi$ は、両測線共、汀線から後浜へ向って右肩上がりで値が小さくなっていて、 $\sigma\phi$ の値の傾向と逆相関している事がわかる。

湾入部において、汀線から極高点と極低点を通る測線の $Md\phi$ は、前測線で、汀線から約 5m の地点付近が極大値を示し、山型の傾向である。後測線は、やや、汀線から護岸の際に向って値が大きくなって、右肩上がりのような傾向だ。 $\sigma\phi$ において、前者は徐々に、後者は急に、それぞれ値が大きくなって行く、右肩上がりの傾向のようだ。 $\alpha\phi$ は、前者で 4 丸が正に、2 丸が負に、それぞれシフトする。一方、後者は、全 5 丸が正にシフトする。 $\beta\phi$ は、傾向として、両者共に $\sigma\phi$ の値と逆相関のようだ。

(3) ある定点から北東側へ、小カスプの粒度組成

(a). 2009 年 10 月 30 日

大カスプの突出部において、 $Md\phi$ が、定点から北東へ約 90m の地点付近と北東へ約 310m の地点付近で、極高点の極大値をそれぞれ示し、極低点の値よりやや上段に位置しながら、大きな山と小さな山を形成している。極低点では、定点から北東へ約 20m の地点付近と北東へ約 340m の地点付近で、それぞれ極大値を示し、やや、極高点の値より下段を維持しながら、大きな山と小さな山をそれぞれ形成のようだ。全体的な傾向は、定点から北東へ約 270~280m の地点間で極小値を示し、V 字型を保ちつつ、極低点の方が粗粒な傾向のような気がする。 $\sigma\phi$ は、全体的な形態として前述の $Md\phi$ のそれと類似しているが、定点から北東へ移動するにつれて、極低点の方が極高点より値

が小さく、淘汰が良いように思える。 $\alpha\phi$ は、 $Md\phi$ と $\sigma\phi$ の値の傾向を反映して、全体の三分の二位の値が正にシフトしている。このうち、負にシフトしているか、あるいは正にシフトしても 0 に近い値を示すのは、極高点よりも極低点の方がやや多いような気がする。このように負側あるいは正側にシフトするのは、主要成分よりさらに粗粒な、あるいは細粒な、微量な成分が分布曲線の負あるいは粗粒側に、正あるいは細粒側に、その反対側よりも長い“tail”をもつ事が、その方に歪む要因なのである。 $\beta\phi$ は、全体的に $\sigma\phi$ の値と逆相関のようにつる。

大カスプの湾入部で、 $Md\phi$ は、全体が主要成分を極粗砂で組成する。そのうち、極高点の粗粒ぎみな極粗砂の組成であって、値が安定して、極低点のそれよりも下段に位置しながら定点から北東側へ推移する。極低点で、極粗砂のうちの細粒ぎみな組成から粗粒ぎみな組成へ、と乱飛行するかのように、値が定点から北東側へ向って下がっている。(Fig. 7) で、極低点よりやや北東側に小さな膨らみがある事で、西からと北からの波が汀線手前でオーバーラップし、ベクトルの合成があったにしても、まだ西からの波の方が優勢であつたに違いない。極高点に対しては、満遍なく、平均し、安定して、砂・礫を運び上げた。しかし、極低点に対しては、水が往復する事も手伝って、不安定な作用の仕方を施したと思う。 $\sigma\phi$ は、極高点において、大変淘汰が良い状態で、安定して定点から北東側へ推移している。一方、極低点では、値が乱飛行しているかのような状態で、定点から北東側へ推移していて、急降下の箇所もある。全体が極高点の値の上段に位置して、淘汰も悪い。 $\alpha\phi$ は、大部分の値が負にシフトするが、極低点の 4 丸のみが正にシフトしている。その 4 丸は、 $\sigma\phi$ で極大値を示した周辺の極低点のみである事がわかる。ある意味で、大部分が負にシフトする事は常道と言えるだろう。 $\beta\phi$ は、極高点、極低点の値がそれぞれ理論どおり、 $\sigma\phi$ の値と逆相関している事がわかる。

(b). 2010 年 10 月 8 日

大カスプの突出部において、 $Md\phi$ は極高点で、定点から北東へ約 110m の地点~北東へ約 190m の地点間が乱飛行のような状態にあり、急降下している箇所もある。定点~定点から北東へ約 110m の地点間は、極粗砂のうちの粗粒ぎみな組成となる。極高点全体の傾向は、定点から北東側へやや右肩上がりとなって細粒化している。極低点では、主要成分の極粗砂のうちの粗粒ぎみな組成であって、安定し、定点から北東側へ右肩上がりで細粒化する。全体的に極低点の値の方が、極高点のそれより下段に位置し、安定して北東側へ推移する。(Fig. 8) にみるように、極低点よ

りやや南西側に小さな膨らみがあり、西から、と北からの波が汀線手前でオーバーラップし、ベクトルの合成が行われたとしても、まだ、北からの波の方が優勢に作用したに違いない。このため、定点に近付くにつれて、両者の値とも安定した粗粒ぎみな組成を示す事になる。 $\sigma\phi$ は極高点において、 $Md\phi$ の極大値を示した周辺で、乱飛行のような状態をとり、急降下している箇所もある。定点に近付くにつれて、安定して淘汰が良い。極低点は全体で、安定した分級作用を受けて、北東側へ淘汰が良く推移する。 $Md\phi$ の所で論述した波の極高点、極低点に対する作用と相まって、この小カスプの波長の短さ、比高の小ささ、等等の事情も付加する事によって、このような傾向になったのだろう。 $\alpha\phi$ は、極高点、極低点の大部分の値がそれぞれ、負側に、あるいは正側にシフトしている事がわかる。このように、負側、あるいは正側にシフトするのは、 $Md\phi$ 、 $\sigma\phi$ の値の頻度の反映に従って負、正、どちらかを示すようになる。 $\beta\phi$ は極高点、極低点、共に、 $\sigma\phi$ の値と一つ、一つ、相互に見比べた時に逆相関である事が見えて来るだろう。

大カスプの湾入部で、 $Md\phi$ は極高点において、定点から北東へ約50mの地点付近で極大値を示し、一つの山を形成している。定点から北東へ約120mの地点付近から北東へ向ってやや安定し、極粗砂のうちの粗粒ぎみな砂で組成となる。極低点では、定点から北東へ約30mの地点付近で極大値を示し、定点から北東へ約80mの地点付近まで急降下している。この地点より北東側はやや安定して、極粗砂のうちの粗粒ぎみな砂で組成となる。両者共に、定点に近付くにつれて値が激しく上下するようになる。(Fig. 9)に示すように、極低点よりやや南西側に小さな膨らみがあり、西から、あるいは北からの波が汀線手前でオーバーラップし、ベクトルの合成を行った際、北からの波の方が発達し主導権を握って、極高点、極低点に作用したものである。特に極低点では、往復で水の行為を受けるため、極端な値の変化に繋がるのである。 $\sigma\phi$ は極高点において、定点から北東へ約20mの地点付近で極大値を示し、非常に淘汰が悪い。前述の地点から北東側へ急降下して後、やや安定して淘汰が良くなっている。大体、 $Md\phi$ の値の変化と類似しているようだ。極低点では、値が乱飛行しているような状況を示し、急上昇、急降下を繰り返す。 $Md\phi$ の所で論述のように、極低点に対する水の作用の事情から、分級作用の強弱の差が大きかった事を物語っている。 $\alpha\phi$ は極高点で、大部分が正に、1丸が負に、それぞれシフトする。一方、極低点では、4丸が正に、5丸が負に、それぞれシフトする事になる。これらはいずれも、 $Md\phi$ と $\sigma\phi$ の値の変化の反映に従って、主要成分よりさら

に粗粒な、あるいは細粒な、微量な成分が分布曲線の負あるいは粗粒側に、正あるいは細粒側に、その反対側よりも長い“tail”をもつ事で、その方に歪むのである。 $\beta\phi$ は極高点、極低点を問わず、 $\sigma\phi$ の値と一つ、一つ、見比べた時に逆相関している事に気付くであろう。

(4) 小カスプの極高点と極低点における、 $Md\phi$ と $\sigma\phi$ 、 $\alpha\phi$ の相関関係

(a). 2009年10月30日

大カスプの突出部で、 $Md\phi$ が主要成分の極粗砂の範囲を粗粒側へ移行するにつれて、 $\sigma\phi$ との関係では淘汰が良い、悪い、と半半ずつ分割される。それに従って、極高点と極低点とがそれぞれ半半ずつ合っている。 $\alpha\phi$ とでは、大部分が正に、極高点で1丸、極低点で2丸、が負にそれぞれシフトする。

大カスプの湾入部において、 $\sigma\phi$ との関係では、極高点の全丸が淘汰良い、でひと塊だが、極低点では、淘汰が悪い方から良い方へ徐々に移行している。ちょうど、突出部の全丸に挟まれているようだ。 $\alpha\phi$ との関係で、大部分が負に、極低点の3丸が正に、それぞれシフトする。

(b). 2010年10月8日

大カスプの突出部において、 $Md\phi$ が主要成分の極粗砂の範囲内で、細粒側から粗粒側へ移行するにつれて $\sigma\phi$ との関係は、淘汰が悪い極高点の2丸を除いて、他全丸の淘汰が良く、ひと塊になっている。 $\alpha\phi$ との関係で、大部分の極高点の値が正に、極低点の値が負に、それぞれシフトして、それらの中の両者で1丸だけ互に“いれこ”になっている。

大カスプの湾入部における $\sigma\phi$ との関係で、前述、突出部の $Md\phi$ の条件をもとに淘汰の悪い方から良い方へ徐々に移行している。 $\alpha\phi$ との関係では、大部分の値が正に、極高点の1丸と極低点の5丸が負に、それぞれシフトしている事がわかる。

(5) 構成正規分布集団による解析

(a). 2010年10月8日、大カスプの突出部において、汀線から極高点、極低点を通る測線の後浜の集団解析

小カスプの極高点の裏側、後浜において、極粗砂が23.2%、粗砂が39.5%で、それぞれ集団を構成する。また、極低点の裏側の後浜では、極粗砂が34.0%、粗砂が25.4%で、それぞれ集団を構成している。極粗砂については、大部分が前浜から運び上げられて混合したようだ。一部のそれが、海岸砂丘からの流出により混合したものと思われる。粗砂は一部、前浜から供給を受け、また、大部分が海岸砂丘からの流出で賄われ、それぞれ混合したに違いない。中砂、および細砂は上からと、下から、微量だけ来る可能性があり、残

留堆積物ではないだろうか。

(b). 2009 年 10 月 30 日, 小カスプの集団解析

大カスプの突出部の極高点では, 極粗砂が 90% 以上, 粗砂が低い頻度で, 集団をそれぞれ構成している。極低点で, 極粗砂が 60% 以上, 粗砂が 9%, 中砂が 23% で, 集団をそれぞれ構成する。前者の極粗砂の集団を構成する頻度が極めて高いことから, 大部分が下から運び上げられた事と, 一部が海岸砂丘砂の流出物とで混合したようだ。また, 各各, 集団を構成する斜線の角度が大きいことから, 極度に分級作用の進み具合がわかる。後者は極粗砂が 61%, それに中砂が 23% のそれぞれの集団構成であり, 大部分と一部, といった具合で運び上げられたと思う。中砂については, 2010 年 10 月 8 日の後浜で, 36~40% の集団構成という事もあり, 流れ下だり, 混合したとも考えられる。

大カスプの湾入部の極高点において, 小礫が 13%, 極粗砂が 87% で集団をそれぞれ構成する。集団の構成を表す斜線の角度が大きいことから, 多量の礫や粗粒成分が運び上げられて, 分級作用も激しく行われたと思う。極低点で, 礫や粗粒成分を中心に多量, 運び上げられた事だろう。しかし, 弧状沿岸砂州中心部の Bar には同粒径の砂 (粗砂, 中砂) が多量, 堆積している事から (内山, 2004), 何らかの方法で海岸砂丘から流出し, 後浜を介し流れ下だって極低点に滞留となり, 再び, ここを介して海への収支が行われているのではないだろうか。

(c). 2010 年 10 月 8 日, 小カスプの集団解析

大カスプの突出部の極高点において, 極粗砂が 80% 以上, 粗砂が 14% で, 集団のそれぞれを構成する。極粗砂, 粗砂, 中砂の大部分が下から運び上げられて混合する。しかし, 一部のそれらは海岸砂丘からの流出と後浜を介して流れ下だる事によって, 混合となるだろう。極低点では, 小礫が 15% で集団を構成するが, 下から運び上げられる事のみ, しか供給元はない。この地点は傾斜も緩いため, 浮力が格段に働き易いためであろう。極粗砂, 粗砂については, 大部分が下から運び上げられ, また, 一部は上から流れ下だってそれぞれ混合する事により, このような集団の構成となった。

大カスプの湾入部の極高点において, この地点は後浜がなく, 供給を伴う上からの関与は全然ない。大きく発達した波が碎波し潮上する際, 大きな浮力の働きでひたすら運び上げられて混合したに違いない。一方で, 集団を構成する各斜線の傾斜は急であることから, 分級作用も激しく行われたので, このような集団の構成になったのだろう。極低点で極粗砂が 90% 以上の集団を構成している。このため, 極粗砂を中心に多量の砂・礫が運び上げられた事になる。しかし,

この地点は往復で水が通る事でもあり, 浮力も大きく働き分級作用も激しく行われたようだ。そのうえ, 海への砂・礫の収支はこの場所を介して行われる事から, このような集団の構成になったのだ。

以上の事から, 海浜に形成のビーチカスプについての諸事象を論述してきたが, これを機に海岸侵食の原因究明に少しでも寄与できる事を期待する。

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—, 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.
- 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 享 (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: 2012年6月8日)

The Beach Profile and the Grain Size Composition of the Beach Sediment in Jogehama,Ogata Coast **— As for the Beach Cusp, Principally —**

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 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. The distance between Yotsuyahama and Jogehama coast is about 3km long. The seashore between Yotsuyahama and Jogehama coast has been suffered from severe beach erosion.

Sediment samples have been taken on each crest and trough of the small cusps in Jogehama beach on October 30th in 2009 and October 8th in 2010. Another samplings of beach sediment have been carried out in Jogehama beach on October 8th in 2010. The beach sediment from the shoreline to the backshore at 5m interval has been collected on each projection and embayment of the large cusps. Also,beach profiles have been measured in the beach at the same date.

Consequently, the analysis results on both the beach profile and the grain size composition of the beach sediment provide some ideas to solve the source of the coastal erosion.

Keywords: large cusp, small cusp, projection, embayment, crest, trough