

写真によるカスプ地形と波浪場の現地観測

西 隆 一 郎*・佐 藤 道 郎**

1. ま え が き

海浜変形について、夏型海浜と冬型海浜もしくは正常海浜と暴風海浜という季節的にサイクリックな海浜断面変動モデルに関連した多くの研究が行われてきている。また海浜縦断面形状と波形勾配、底質沈降速度あるいは底質粒径、海浜勾配等の関数を用いた無次元パラメータの関連性について、Dean (1973), 砂村ら (1974) の研究が行われている。

ところで、砕波帯内で波浪場や流れの場を変化させその結果として漂砂量をコントロールしている海浜地形は不規則で複雑であり、リズムミクな地形の重要性については、古くは本間ら(1959)により示されている。また最近では Wright ら (1983), 砂村ら (1988) によりビーチステージの推移に関する海浜変形の基本モデルが提案されているが、複雑な地形が海浜変形の中で果たす役割についての現地データは意外と少ないようである。現地で大スケールの海浜地形を含む場の現象を捕らえ、現在存在する地形が波浪場をどの様に変化させ、その後の海浜変形をコントロールしていくかといった点を包括的に調べることは、人員、予算の面で困難である。だがせめて何かヒントでも得られればと考え鹿児島県薩摩半島先端に位置する開聞岳山頂から西側海岸の海岸過程を6年にわたって写真を撮り調べてきた。

本論文ではその写真に基づいてメガカスプやビーチカスプを含む地形と波浪の関係について検討することにする。

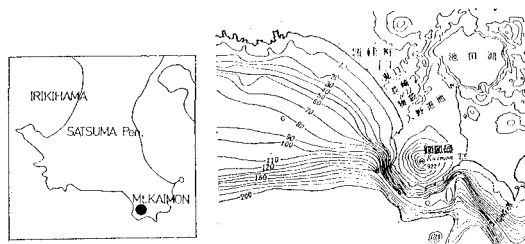
2. 観測地点の概要と測定方法

まず、観測は鹿児島県薩摩半島の先端に位置する海拔922 mの開聞岳山頂より行った。開聞岳の位置と現地海岸の地図を図一1, 2 にそれぞれ示す。現地海岸は外洋に面し東から西に向かう長さ8.2 kmの砂浜海岸であり、東より入野道地、物袋、長崎、鬼口、前原の海岸よりなり、長崎、鬼口間は小さな岬により遮られているが沿岸

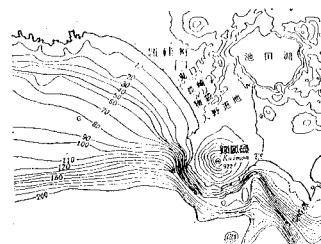
漂砂を完全に遮るほどの大きさではない。海図を用いれば水深50 mまでの平均勾配は1/50~1/60であるが、前浜付近では1/8.5程度とかなり急勾配になっている。この海岸では、10年ほど前佐藤らによる現地観測(1980, 1981)も行われ、ビーチカスプの発生に関する検討も試みられている。また、佐藤らによれば物袋海岸を構成する海浜底質の中央粒径は場所により0.5 mmから1.0 mmの範囲に渡っている。図一3に佐藤らによりえられた物袋海岸の海浜縦断面形状を示す。

スケールの的には長さ約8.2 km, 時間的には約6年の経時的なデータのうち、メガカスプ、不連続な直線パー、また波長が10から20 m程度のビーチカスプを含む地形と波浪場の関係について撮影した写真に基づき考察を進めることにする。ついで、小スケールの地形としてのビーチカスプと波週上について、モータードライブを用いたカメラで連続的に撮影し、地形と週上波の関係についても検討する。

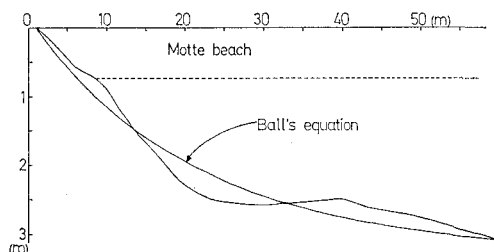
これまでも、空中写真による砂浜港湾付近の海浜変形については田中ら(1978), 久宝ら(1977)による研究も成されている。この航空写真は短時間に広い水域および



図一1 開聞岳の位置



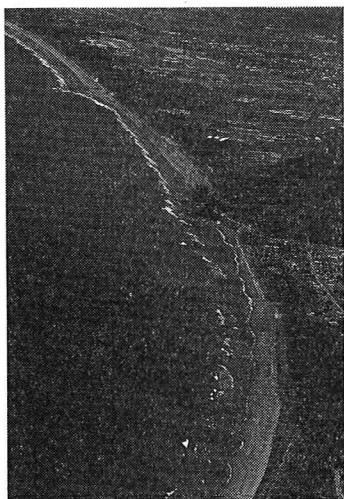
図一2 開聞岳の西海岸



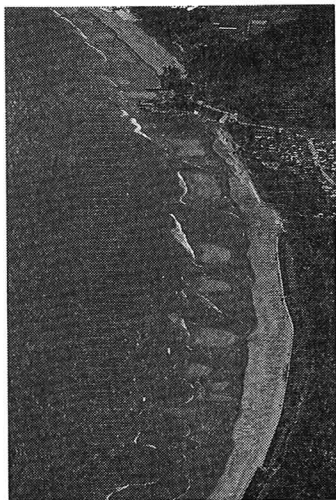
図一3 海浜断面

* 正会員 工修 鹿児島大学工学部

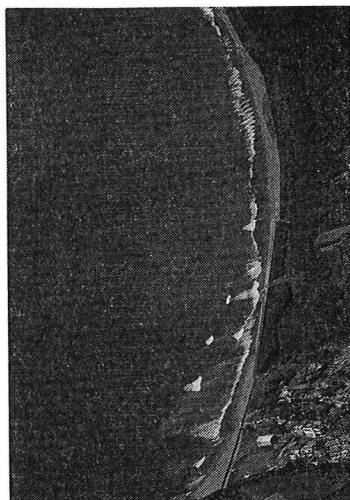
** 正会員 工博 鹿児島大学工学部



写真一 1984年4月下旬撮影



写真二 1987年5月下旬撮影



写真三 1990年10月10日撮影



写真四 1990年12月23日撮影

沿岸の陸地を含めて面的に観測と記録ができ、さらに特に水が透明なところでは、ある程度海底の起伏の観察あるいは複雑に変化する海岸の微地形が判読され、漂砂移動の研究に役立てることが出来るものと考えられる。このような空中写真の利点や欠点については Dolan ら (1978) に詳しい。さて以下において、海岸地形の具体例について述べて行くことにする。

3. 現地の海岸過程

3.1 大スケールの地形

図一1, 2 に示される現地海岸を約6年に渡り不定期に写真撮影して海浜変形について調べてきたわけであるがその中の代表的な海岸地形の例を写真一から写真四に示す。

まず写真一に1984年4月下旬の入野道地、物袋、

長崎海岸の堆積過程における波長 140 m ~ 180 m 程度のメガカスプと波浪場の様子を示す。この写真のような汀線の屈曲で現されるメガカスプに加えてバーム付近には長さ 10 ~ 20 m 程度のビーチカスプが共存している。ここでは、一般的にメガカスプの apex 沖合いにおいて入射波浪が碎波しており、この付近の水深が浅いことが予想される。また bay の沖合いにおいては波が余り碎波しておらずこの付近の水深が apex 沖合いに比べ深いことが分かる。このことからこの付近には砂村らによる海浜変形の基本モデル中に示される直線状でしかも不連続な沿岸砂州が存在することが分かる。三日月型のバーに対してこのような直線バーの観測例は少ないが、この海岸では沿岸方向全域において長さ 140 ~ 180 m 程度の不連続な直線バーが存在しており、直線バー上で向岸流が起る地形性の海浜流が起きていることが予想される。このような堆積過程の直線バーでは、バーの海側緩斜面上を主に掃流形式で運搬されてきた底質が陸側急斜面に堆積することにより岸側に移動するものと考えられるが、これを明らかにするには経時的な断面測量と底質のサンプリングが必要となる。

ついで、写真二は同地域の1987年5月下旬のものであるが、写真一と同様にメガカスプの発達が見られ、このメガカスプの apex 沖合いにほぼ対応する位置に沿岸方向に不連続でバリアーアイランドのような地形が形成されている。これは写真一にみられる不連続な直線バーが岸向きに移動し汀線に付着する過程のものであると考えられる。この沿岸方向に規則的に並んだ砂州地形の間にはリップチャネルが存在しこのメガカスプの bay 沖合いでの岸向きの砂輸送が離岸流等によりかなり弱められていることが分かる。この沿岸砂州の幅はほぼこの時点の海浜幅 130 m に匹敵するものであり平均して 140

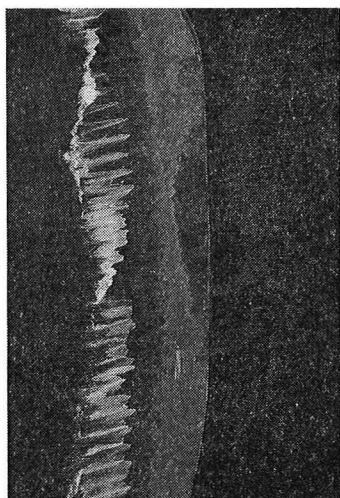


写真-5 遡上波 1

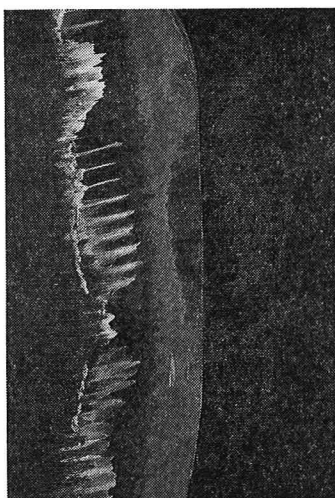


写真-6 遡上波 2

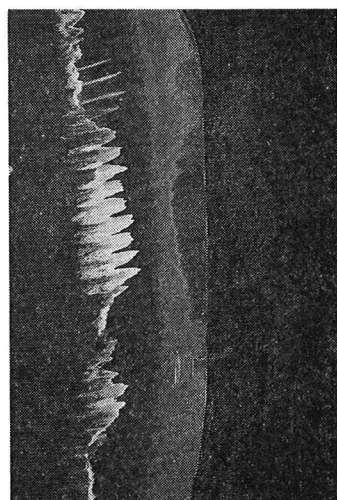


写真-7 遡上波 3

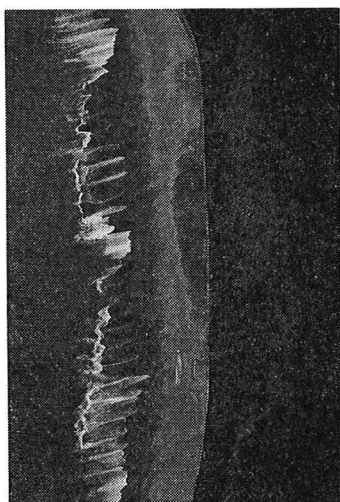


写真-8 遡上波 4

m である。砂州の発生間隔は 140~180 m 程度であり、メガカスプ地形とはほぼ対応している。また、写真上部の岬下手側にコンクリートブロックを設置した海岸侵食部があるが、リップチャンネルの後方に位置するため堆積過程のビーチステージとはいえ、隣接した海浜に比べて侵食部の回復がかなり遅れることが分かる。ついで 1990 年 10 月 10 日の海浜の状況を写真-3 に示す。さらに冬季の波浪が来襲している侵食過程の様子を写真-4 に示す。これは 1990 年 12 月 23 日のものであるが撮影した時点において直線的な汀線形状をしている。また侵食性の波浪が前浜上部に達しているが、所々ビーチカスプに対応する波遡上の様子がみうけられる。以下においてはこのビーチカスプと波遡上の様子について写真を用いた観測結果について述べることにする。

3.2 ビーチカスプと波遡上

前記したようなメガカスプに加えて、この海岸には長さ 10~20 m 程度のビーチカスプが存在していることは、既に佐藤らにより報告されている。またこのビーチカスプの波長についても物袋海岸においては沿岸方向のある区間で徐々に波長が開開岳側に増加していき突然ビーチカスプの波長が減少して再びまた増加し始めるという興味深い観測結果が述べられているが、このビーチカスプの波長の変化は、メガカスプのスケールと対応するような変化のようであり、これについては写真-5 がその可能性を示すものと考えられた。また彼らの観測においては、凹凸のない一様勾配の平面海浜上でビーチカスプが 2~3 潮汐の間の波作用で完全に形成されるというその発生時間に関する興味あるデータを提供している。

さて、ここでは写真-5 から 8 に示すようなビーチカスプ地形上での波の遡上を調べるために、前節と同様に開開岳山頂付近に 800 mm の望遠レンズを装着した一眼レフカメラの OLYMPUS OM2 にモータードライブを取り付け、各瞬間毎の波のフロントを追跡することにした。

写真-5 に示すような一連の波遡上には 2 つのモードが重なっているようであるが写真中短い間隔の遡上波のモードは、ここに存在する 10 から 20 m 程度の波長を持つビーチカスプに対応するものであり、長い間隔のモードは長さが 190 m 程度であり、写真-2 に示したような 180 m 程度の不連続な直線バーの長さとはほぼ同じスケールであり、またメガカスプの波長のスケールとオーダー的に対応しており、このような地形となんらかの関係があるのではないかと考えられた。航空写真等にはビーチカスプに対応する遡上波がとらえられている事があるが、このように 2 つのモードが重なると考えられる遡

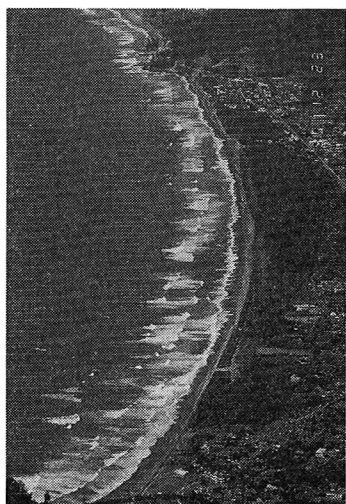


写真-9 1990年12月撮影

上波の例は珍しい。この写真はほぼ3秒間隔のものであるが、その後0.5秒間隔でモータードライブのタイマーをセットし36枚取りのASA 400のフィルムを用いて観測を行った。その1例を写真-9に示す。この時は風波とうねりが重なっており、前述の写真-5から8ほどははっきり遡上波の様子が分からないが、ビーチカスプに対応する遡上波と、遡上波の後方岸沖方向に白い碎波の跡がみられる。写真に示したように、この海岸の遡上波には地形の効果が大きいと思われるが、現地点では地形の現地測量を行っていないため詳細については検討できない。

さて、このような一連の遡上波では、ビーチカスプのbay部に沿って引き波の海水が海側に流れて行くが、この流れは非常に強くその影響は波の後ろ側のフロント(リアフロント)よりさらに海側への突出として白く跡をひいている。Harris(1969)によれば碎波帯内にはメガカスプに対応するようなスケールの海浜流系と前浜汀線付近を中心とする小さなスケールの海浜流系が存在すると指摘しているが、この写真からもビーチカスプ地形が汀線付近の流れ場の支配的な要因の一つであることが分かる。写真-5, 6, 7, 8は1990年10月のもので写真-9は1990年12月のものである。

このような一連の写真より遡上波のフロントを、現地スケール約2.5m間隔で読み取り、それをFFT解析しその結果を図-4に示す。この様な海浜地形のFFT解析は、例えば衛星写真を用いてアメリカの大西洋岸で1300kmに渡り行ったDolanら(1983)の研究や、類似のものとして加藤ら(1980)による経験的固有値関数法を用いた解析等がある。ここでは、写真に示したような汀線変動パターンと例えばStanding edge wave等との関係について言及するための波浪や海浜地形のデータがな

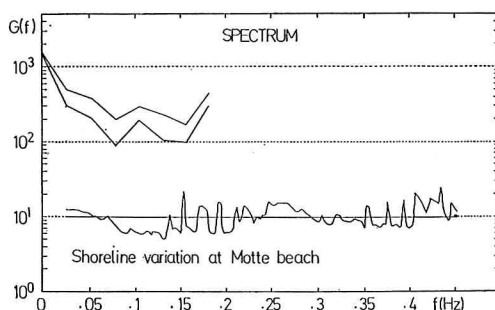


図-4 遡上波のFFT解析例

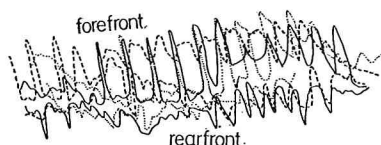


図-5 遡上波の変動

いのでFFT解析結果だけを示すことにする。図中の横軸はcycle/mであるが、ほぼ0.1近傍にピーク値があり10m程度のビーチカスプに対応するが、この汀線変動の読み取りに関し、図中の読み取り例に示すように波フロントの定義にやや厳密性がかけている点に問題がある。

また、佐藤らにより以前行われたビーチカスプの波長が沿岸方向に徐々に増加し300m程度の間隔でまた急に波長が減少し再び沿岸方向に増加するという結果について既に述べたが、これは写真に得られているような長いモードの波遡上に対応する現象であると思われる。但し、佐藤らにより行われた観測は10年ほど以前のものであり、ここで定量的な比較は行えず、定性的な可能性を指摘するにとどめる。

ついで、図-5に写真より読み取った経時的なdown-rush, up-rush, down-rushの様子をそれぞれ点線、波線、実線で示す。down-rush時に陸側に波のフロントが突出している部分が滞筋であり、ビーチカスプのbay部に当たる。これは引き波の時にカスプのapex部より回り込んで来た水塊が地形的に低い部分に集中するためである。この部分は一種の噴流のような働きをし写真-5に示すようにup-rush時にはapexの部分に比べて波のフロントの遡上を遅らせてしまい、引き波時とは逆に波のフロントがビーチカスプのapex部で陸側に凸になってしまう。そして、次のdown-rush時には再びbay部の波のフロントが陸側に凸になる現象が繰り返される。またdown-rush時においては、波の海側のフロントにも凸凹形状がみられるこれは、引き波時のbay部に沿う流れの影響がかなり沖合いまで及んで、ものによっては遡上

長さに匹敵するほど沖合いにまで、明瞭な白い碎波線で示される痕跡を残している。図に示したようなビーチカスプ上での波週上については Bascom ら(1970)のものとは若干異なることが分かる。このような汀線変動(ビーチカスプ, メガカスプ), 週上波とエッジ波との対応関係については古くより多くの論文があるが, 本研究においては波浪のデータを取得していないため, 今後の課題とし, 参考のために表-1 に前浜勾配 $\beta=1/8.5, 1/31.3$ とした場合の $n=0, 1$ に対する周波数と, 佐藤らにより得られた波のパワースペクトルを示す。ただし, ここでは, エッジ波の波長 L_e としてビーチカスプの波長とメガカスプの波長のそれぞれ2倍を採用し次式を用いて計算した。

$$L_e = \frac{gT^2}{2\pi} \sin[(2n+1)\beta] \dots\dots\dots (1)$$

表-1 エッジ波の周波数

Wave length	$L_e=30.5m$		$L_e=280m$	
Mode	$n=0$	$n=1$	$n=0$	$n=1$
$\beta=1/8.5$	0.078	0.13	0.026	0.044
$\beta=1/31.3$	0.04	0.07	0.013	0.023

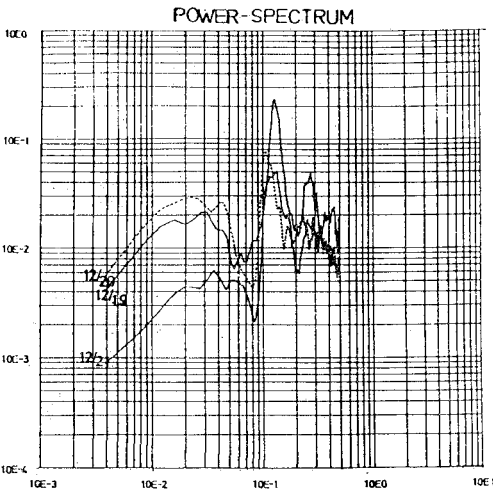


図-6 パワースペクトル

4. 結 論

写真を用いて開聞岳山頂より西側に広がる海岸の現地観測を行い, 平面的に広領域の海浜地形と波浪場に関するデータを収集し検討を行った。

その結果, この海岸では堆積過程において140~180m程度のメガカスプが存在し, このメガカスプ apex の沖合いで碎波が起き易いことが分かった。またこの堆積過程の次のステージにおいては, 約8.2kmの海岸全域に渡り, このメガカスプと対応するスケールの不連続な直

線バーが発生しており, このバーの岸沖方向の幅は, その時点の海浜幅に相当するものであることが分かった。

また, この堆積過程においてリップチャンネル後方の海浜の砂の堆積は, 隣接海浜に比べて遅れることが分かる。

次いで, スケールの小さなビーチカスプを含む前浜上での波週上については, 写真でとらえた波週上には2つのモードが重なっており, その1つがメガカスプにもう1つがビーチカスプに対応するスケールのものである事が分かった。このビーチカスプ地形では, 週上した波が後退するときにカスプの bay 部に引き波の海水が集まり沖側に流出し一種の噴流のような役割をし, 続く週上波の進行をカスプの apex 部に比べて遅らせる事が分かった。

ここでは, 写真だけを用いた考察のために, このような海浜地形を作り出す可能性のあるエッジ波等を含む流体場の考察は出来なかったが, このような点に関しては今年度の課題として, 現地観測を行ない明らかにする予定である。

参 考 文 献

- 加藤一正・灘岡和夫・田中則男 (1980): Empirical eigenfunction によるエッジ波の解析, 第27回海岸工学講演会論文集, pp. 178-182.
- 久宝雅史・戸巻昭三 (1977): 写真による漂砂移動に関する考察, 第24回海岸工学講演会論文集, pp. 195-199.
- 佐藤道郎・中村和夫・田村孝義 (1980): 碎波帯付近の波浪特性に関する現地観測, 第27回海岸工学講演会論文集, pp. 124-128.
- 佐藤道郎・黒木敬司・篠原知明 (1981): ビーチカスプの形成に関する現地観測, 第36回年次学術講演会, pp. 841-842.
- 砂村継夫 (1933): 海岸環境工学, 海岸過程の理論・観測・予測方法, 堀川清司編, 東大出版会, 第2編, 第2章.
- 田中則男・加藤一正 (1978): 大洗海岸における海浜流, 碎波帯の波の観測, 第25回海岸工学講演会論文集, pp. 232-236.
- 本間 仁・堀川 清・鮮干 徹 (1959): 波浪, 漂砂および海浜変形について, 第6回海岸工学講演会論文集, pp. 78-88.
- Bascom, W. (1970): 海洋の科学, 海面と海岸の科学, 吉田耕造内尾高保訳, 河出書房.
- Dean, R. G. (1973): Heuristic Models of Sand Transport in the Surf Zone, Conference on engineering dynamics in the Coastal Zone, Sydney, Australia.
- Dolan, R., B. Hayden and J. Heywood (1978): A New Photogrammetric Method for Determining Shoreline Erosion, Coastal Engineering, Vol. 2, pp. 21-39.
- Dolan, R. and B. Hayden (1983): Patterns and prediction of shoreline change, CRC Handbook of Coastal Processes and Erosion, P. D. Komar, CRC Press Inc., pp. 123-150.
- Harris, T. F. W. (1969): Nearshore circulation, Field observation and experimental investigation of an underlying cause in wave tanks, Symposium Coastal Eng. South Africa, pp. 1-13.
- Sunamura, T. and K. Horikawa (1974): Two-dimensional beach transformation due to waves, Proc. 14th Coastal Eng., ASCE, pp. 920-938.
- Wright, L. D. and A. D. Short (1983): Morphodynamics of beaches and surf zones in Australia, CRC Handbook of Coastal Processes and Erosion, P. D. Komar, CRC Press, Inc., pp. 35-64.