

現地海岸におけるカスプの特性

玉 井 佐 一*

1. 緒 言

カスプの形成は海浜における漂砂移動、特に碎波帯内での砂移動と関連して、その究明は複雑であるが、海浜流の挙動および沖の弧状砂州との対応など、浅海域での海浜変形とともに興味ある問題であろう。

著者^{1),2)}は、このようなカスプおよび弧状砂州の形成について、まず、実験的に検討し、特にカスプの形状と波特性および海浜特性との関連性について考察するとともに、その形成機構についても若干の考察を行ってきた。

今回は現地海岸におけるカスプの調査結果をもとに、その特性について検討し、著者^{1),2)}の従来の実験結果と対比して考察を進めたものである。

2. 現地海岸におけるカスプの形状と従来の研究

現地海岸でのカスプの形態には大別して前浜部に形成される beach cusp と汀線の大規模な波状性で代表される, large cusp の2種類が存在することが知られている。前浜部に見られる小規模なカスプ, すなわち beach cusp を最初に取扱ったのは, D. W. Johnson³⁾ (1919) のようで, その後 Kuenen⁴⁾ (1948) によって研究が進められている。一方汀線の大規模な波状地形に注目したのは, Per Brunn⁵⁾ (1954) といわれ, オランダ北海沿岸に 10^3 order の shoreline waves を測定している。わが国で最初にカスプに注目したのは鈴木⁶⁾ (1933) のようで, その後土佐林⁷⁾ ら (1949) は新潟海岸において上記の large cusp および beach cusp に相当する大カスプと小カスプとを発見している。また小向⁸⁾ (1956) は函館大森海岸の海岸侵食調査と併行して, カスプに関する調査を行い, スパン 700m 前後, 170~250m および 8~22m の3種の rhythmic pattern の存在を認めている。さらにその後, King⁹⁾ (1959) および Zenkovich¹⁰⁾ (1967), わが国では三位¹¹⁾ (1958) による太平洋岸各地での調査, 茂木¹²⁾ (1959) または本間・鮮干¹³⁾ (1963) はカスプの

成因およびそれに対応して沖側に形成される弧状砂州の問題を論じている。また山内¹⁴⁾ (1963) は beach cusp に着目して, カスプと波特性との関係について考察を進めている。さらに最近に至って白井¹⁵⁾ は large cusp および beach cusp の形状と海浜特性との関係を検討し, それぞれ興味ある結果を発表している。

W. Bascom¹⁶⁾ は海岸に関するあらゆる不思議なものの中で, カスプは最も複雑なもので, 成因説は多いが, どの一つとして完全に満足すべきものはない。と述べているようにカスプの成因について, 従来の研究成果では十分立証するに至っていないのが現状である。

3. 高知海岸におけるカスプおよび海浜特性

(1) 高知海岸のカスプ

図-1 に示す高知海岸, 新居~伊尾木間延長約 50 km の砂浜におけるカスプの形成状況について, 1974 年および 1975 年にわたって調査を行う一方, 1962 年, 1969

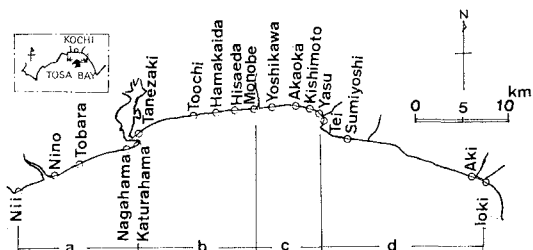


図-1 高知海岸調査区域

年, 1973 年および 1974 年の空中写真によって新居~夜須間 30 km に形成された beach cusp のスパン l_c および幅 r (図-2 参照) について測定した。

図-3 (a), (b) および (c) はスパン l_c を, 図-4 (a), (b) および (c) は幅 r の値を各海浜について示したものである。図-3 (a), (b) および (c) のように高知海岸の beach cusp のスパン l_c は 7~90 m におよび, 一般には 10~40m のスパンのものが多く見られる。しかし同じ海浜において必ずしもその値は一

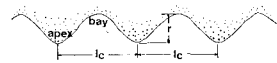


図-2 カスプ模式図

* 正会員 高知大学助教授 農学部農工学教室

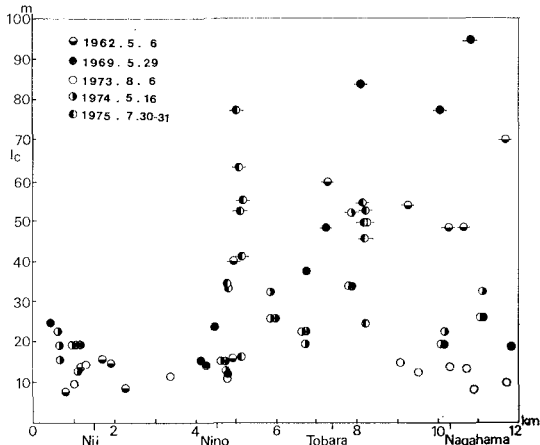


図-3 (a) 高知海岸の beach cusp のスパン
(新居～桂浜)
(翼型記号は後浜カスプのスパン)

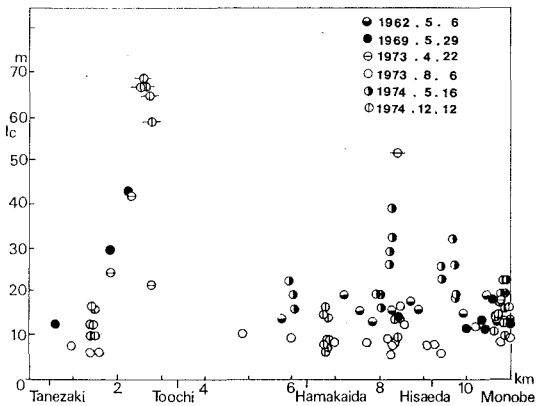


図-3 (b) 高知海岸の beach cusp のスパン
(種崎～物部)

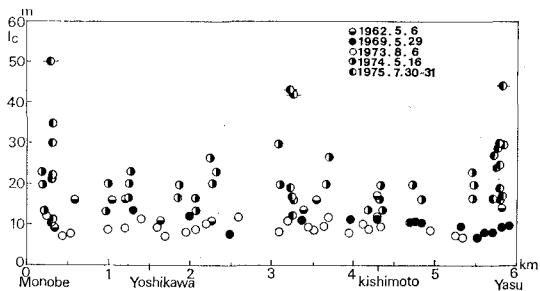


図-3 (c) 高知海岸の beach cusp のスパン
(物部～夜須)

定でない。表-1 は久枝地区での 1975 年 1 月 23 日午前 11 時の荒天時波浪、周期 $T \div 8 \sim 10$ sec、波高 $H = 1.2 \sim 2.0$ m の場合の beach cusp のスパンと、翌 24 日午前 11 時での平穏時波浪 $T \div 10$ sec、 $H = 40 \sim 70$ cm の場合におけるスパンの値である。一昼夜の間にスパンの大きさは変り、半減している。このように beach cusp のスパン

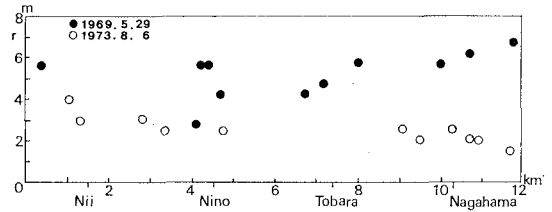


図-4 (a) 高知海岸の beach cusp の幅 (新居～桂浜)

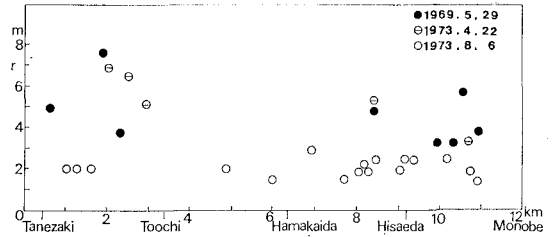


図-4 (b) 高知海岸の beach cusp の幅 (種崎～物部)

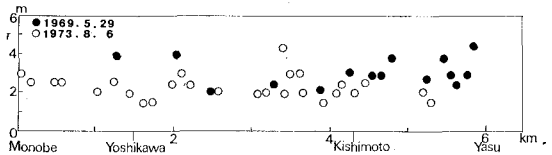


図-4 (c) 高知海岸の beach cusp の幅 (物部～夜須)

表-1 beach cusp の変化

1975. 1. 23. a.m. 11:00			1975. 1. 24. a.m. 11:00		
T (sec)	H (m)	l_{c1} (m)	T (sec)	H (m)	l_{c2} (m)
8~10	1.2~2.0	41	10	0.4~0.7	22
		38			13
		24			13
		25			18
		40			19
					18

ンは、その折の波特性の変化に左右され、比較的にはやく、その形状が変わることがわかる。茂木¹⁷⁾は beach cusp に対して、高潮カスプおよび低潮カスプとに分け、そのスパンは一般に高潮カスプが大きく、低潮カスプは高潮カスプの 1/2 に相当するとしている。また山内¹⁴⁾は beach cusp の形成位置について、前浜上段、下段および後浜の 3 地点を示している。著者の高知海岸における調査においても、満潮時に前浜上段に形成されるカスプ、干潮時の下段カスプと、さらに後浜に形成された beach cusp を見る事ができた。このうち、後浜カスプは、図-3 (a), (b), (c) に見られるように、そのスパンは前浜部のものより大きい。また茂木¹⁷⁾および山内¹⁴⁾も指摘しているように、このような後浜カスプは形成後日時が経過しており、後浜に異常に高い波が来襲しない限り、その形状は変らない。さらにこのような後浜にス

パンの大きいカスパが形成される地点は限定されるようで、自然海岸またはある程度の砂浜幅を有していることと、前浜から後浜の海浜勾配が $1/10 \sim 1/20$ 程度であることが条件としてあげられるようである。高知海岸住吉地区では汀線付近の前浜勾配が $1/4 \sim 1/5$ で、beach cusp の形成は見られないが、汀線より 60m 陸側の後浜にスパン 70m のカスパの形成が見られる。この後浜の浜勾配は $1/17 \sim 1/20$ であり、上述の後浜でのカスパの形成条件をよく表わしていると言えよう。

図-4(a), (b), (c) はカスパの幅 r の値を示したものである。高知海岸では、多くは $r=1 \sim 8$ m で、スパン l_c の大きいものが一般に r は大きく、スパンと同様、その折の波特性に左右されることがわかる。

次に large cusp について、1962 年 5 月、1969 年 5 月、1973 年 4 月、1973 年 8 月の空中写真および 1966 年 8 月、1970 年 2 月、1973 年 10 月の建設省高知工事事務所による汀線測量結果を整理したものが図-5 である。これより、large cusp のスパン $l_c=800 \sim 1900$ m のものが見られ、apex のわずかな移動が見られる程度で、その形成位置はほぼ定まっている。このことは白井ら¹⁸⁾の大潟海岸における large cusp の調査結果にも見られ、通常の海象のもとではカスパの大きな移動はなく、比較的安定すると述べている。またこのような large cusp の波状地形内に beach cusp の形成が見られ、両者が共存していることがわかる。large cusp の apex と bay との距離、すなわち幅 r は $r=15 \sim 20$ m であった。図によれば large cusp のスパン l_c は、物部川河口以西種崎までと、長浜～戸原間に形成されている。また物部川河口より西方、十市に至るにしたがってスパンが小さくなっており、循環流による形成機構および茂木¹⁹⁾の沿岸流の蛇行性によるカスパの成因などとも関連するようで興味ある現象であろう。

(2) 高知海岸の海浜特性

図-6 は高知海岸、新居～夜須間 30 km の 1968 年、1969 年および 1974 年の調査による海浜勾配を示したものである。図には前浜および沖浜に分けて示した。これによれば、前浜の砂浜勾配は $1/5 \sim 1/15$ の範囲にあり、

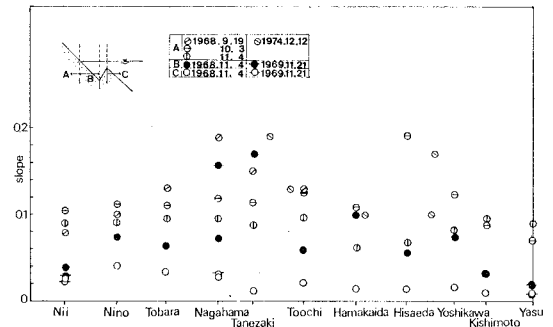


図-6 高知海岸の海浜勾配

高知海岸中央部、長浜～十市間において前浜勾配が、やや急で、 $1/5 \sim 1/12$ である。また沖浜部の海底勾配は西方の新居～長浜では $1/25 \sim 1/30$ であるが、東方の十市～夜須間では $1/50 \sim 1/100$ の海底勾配を示している。1974 年 12 月を除けば海浜勾配とカスパの調査年月が同一ではないので、海浜勾配とカスパの形状特性とを十分に関連させることができないが、以上の調査結果から推論して、高知海岸において前浜勾配 $1/5 \sim 1/15$ で beach cusp の形成が見られる。一方 large cusp の形成されている物部川河口以西種崎間の水深 -10m までの海底勾配は、図-5 に併記したように $1/45 \sim 1/57$ で、-10m ～ -15m では $1/60 \sim 1/102$ となっている。これらの沿岸方向の変化と large cusp のスパンとの間には、この区間内では明確な関係を見出すことができないが、その形成には沖の海底勾配が影響することが考えられる。白井ら¹⁸⁾の大潟海岸での調査結果にも見られるように、海底勾配と large cusp のスパンとは密接な関係があるようで、今後さらに詳細な調査を行って明らかにしたいと考えている。

次に上記と同様の海岸区間における汀線砂れきのふるい分け係数 $s_0 = \sqrt{d_{75}/d_{25}}$ の沿岸方向分布を図-7 に示す。調査年によってその分布は異なるが、カスパのスパン l_c および幅 r との関連性はあまり明確ではない。本来、

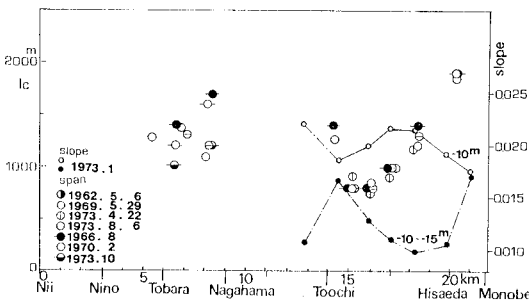


図-5 高知海岸の large cusp のスパンと海浜勾配

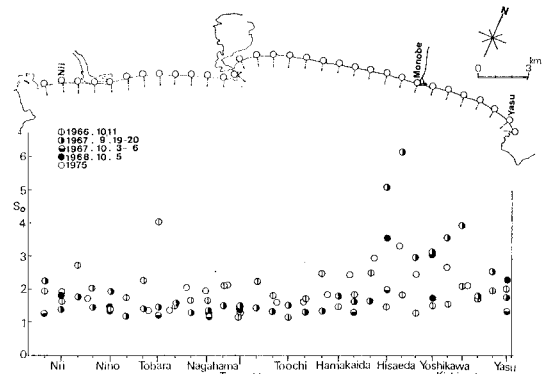


図-7 高知海岸の汀線砂れきのふるい分け係数

beach cusp の形成されている個所では、その apex と bay とでは、カスプの形成時、分級作用によって、bay で粒径が小さく、apex で大きい。また前述のように、前浜上段または下段でのカスプの形成状況によっても異なっており、海浜砂採取位置によって、その粒径特性が異なることから、必ずしも明確な関係を見出せない。茂木²⁰⁾および山内¹⁴⁾は粗粒ほどカスプのスパンが小さい傾向にあることを指摘している。高知海岸では $s_0=1\sim3$ の範囲内において beach cusp が形成されているが、前述のように beach cusp の形状は、波特性の変化によって比較的にはやく影響をうけることから、海浜砂との関係を明確にすることは、さらに詳細な調査が必要であろう。現在、混合砂による実験を準備中であり、前回^{1),2)}までの中央粒径 $d_{50}=0.28\text{ mm}$ の実験結果とも比較し、明らかにする考えである。

4. 現地海岸におけるカスプの特性に関する総考察

高知海岸におけるカスプの調査結果、鳥取海岸の空中写真の整理、小向⁹⁾による函館大森海岸、山内²¹⁾による千葉県内房、外房海岸、茨城県常磐海岸、新潟県柏崎海岸、また白井ら^{15),22)}による新潟県大潟海岸の調査資料をおのおの再整理し、従来の著者^{1),2)}の実験結果と比較検討する。

著者は前回のカスプの形状特性として、スパン l_c について海浜勾配 i_0 と沖波波形勾配 H_0/L_0 の比 $i_0/(H_0/L_0)$ をもって検討したが、堀川・佐々木²³⁾らは海浜流の規模の評価を行う中で、Battjes²⁴⁾が提案した surf similarity parameter, $\xi_0=i_0/(H_0/L_0)^{1/2}$ に着目し検討している。したがって今回はこれに準じて、横軸に ξ_0 をとり、縦軸にはカスプのスパン l_c と碎波帯幅 l_B との比 l_c/l_B をとって log-log 紙上に表したものが、図-8 である。図には各海浜勾配による実験結果および斜め入射波による結果と、今回の高知海岸および鳥取海岸での現地資料とを併せて記した。

Galvin²⁴⁾ または堀川・佐々木²³⁾によれば、 $0.5<\xi_0<3.3$ で plunging breaker および $\xi_0<0.5$ で spilling breaker を示すが、図-8 に見られるように l_c/l_B の分布は $\xi_0\approx 0.5$ において不連続となり、碎波形式がカスプの形成または形状に関係深いことがわかる。すなわち、碎波帯内での波の挙動、換言すると碎波帯内で見られた波の扇形状の拡がり、循環流の発生、および前浜における swash の挙動が、カスプの形成に影響することがわかる。

現地海岸の結果については高知海岸は beach cusp のスパンを鳥取海岸では large cusp のスパンをとって示し、海浜勾配および入射波はおのおの平均値をとった。

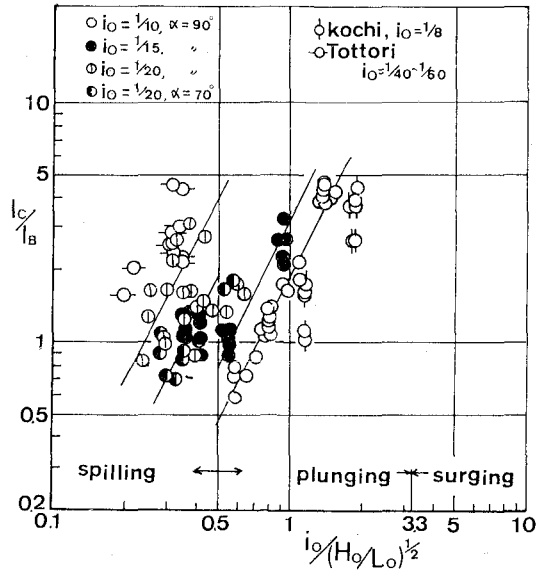


図-8 l_c/l_B と $i_0/(H_0/L_0)^{1/2}$ との関係

図に見られるように現地と実験結果とはよい対応が認められる。また鳥取海岸では水深 -5m までの海底勾配が $1/40\sim 1/60$ の緩やかな所で、large cusp の形成が見られ、日野²⁵⁾の離岸流の発達に関する理論的考察と対応する。

次に図-9 は縦軸にスパン l_c と沖波波長 L_0 との比 l_c/L_0 をとり、横軸には上記と同様、 ξ_0 をとって示し

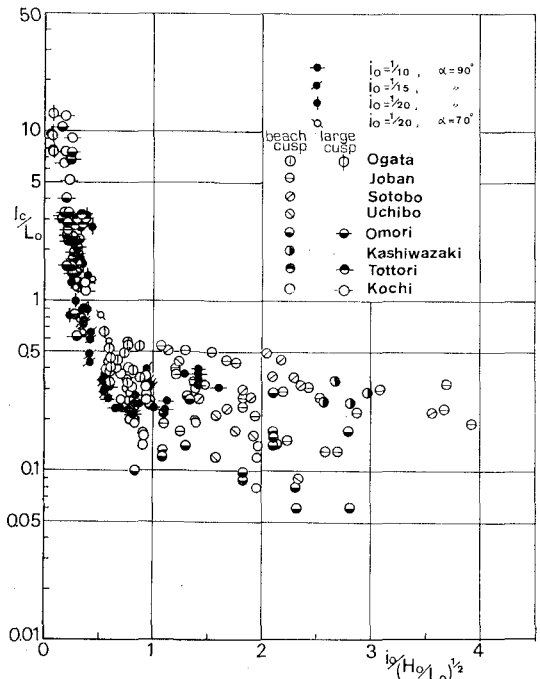


図-9 l_c/L_0 と $i_0/(H_0/L_0)^{1/2}$ との関係

た。図には山内²¹⁾による常磐海岸、外房海岸、内房海岸および柏崎海岸の beach cusp の調査結果と、小向⁹⁾による函館大森海岸の beach cusp および large cusp についての測定結果も併記した。この場合、 $\xi_0 > 0.5$ については beach cusp の測定結果であり、横軸中の海浜勾配は前浜勾配をとって表わした。また $\xi_0 < 0.5$ では large cusp の l_c を対象とし、海浜勾配は高知、鳥取、大森海岸では水深 -5m まで、大潟海岸では -20m までの平均勾配をとって整理した。波については、高知海岸では住吉観測所(図-1 住吉海岸)、鳥取海岸では千代川沖、大潟海岸では京大潟波浪観測所での波浪記録²²⁾によって、カスプ測定時より1日前の有義波を、常磐海岸、外房海岸、内房海岸および柏崎海岸についてはカスプ測定時の周期、砕波高から推算した平均波を、大森海岸については、前月またはその月の平均波をもって表わした。各地点での資料の採用、整理方法が異なるが、現地資料を対象とする場合、まずその時期の平均波によって代表せざるをえないであろう。

図によれば beach cusp は $\xi_0 > 0.5$ で $l_c/L_0 \approx 0.06 \sim 0.6$ 、large cusp は $\xi_0 < 0.5$ において $l_c/L_0 \approx 0.7 \sim 13.0$ の値を示し、各海岸での結果と実験結果とはよい対応が見られる。

次に幅 r とスパン l_c との関係を 図-10 に示す。図には小向⁹⁾による大森海岸、山内²¹⁾による常磐、外房および内房海岸の調査結果を併記した。特に小向⁹⁾は r と l_c との関係式を示しているが、それらはおのの部分的な傾向を示しているが、むしろ全体的な r と l_c との関係を見ることができる。

さてカスプの形状については large cusp と、beach cusp とでは異なるが、高知海岸での beach cusp の測定において、カスプ中心線に対して、対称型のものと、場所的に非対称型のものが観察された。Johnson³⁾ また

は土佐林²⁷⁾らが指摘したように、非対称型カスプは対称型に発達したものの变形であり、破壊過程にあるもののようで、形成末期の老年期のものと考えられる。さらにこのようなカスプの形状の変化現象は一般汀線の後退過程の一つの有力な段階と考察されるのではないかと述べており、海岸変形と考合せ、興味深いことであり、今後検討して行きたい。

5. 結 言

現地海岸のカスプの調査結果を通じ、beach cusp および large cusp の特性を検討し、海浜特性との関連性について考察するとともに、従来の実験結果とを対比し、考察した。それらの結果を要約すると次のとおりである。

(1) カスプは、その形成機構の相違から、beach cusp と large cusp が存在し、前浜部に形成される beach cusp のうち、前浜上、下段に形成される beach cusp は波特性の変化によって比較的速やかに、その形状を変える。また後浜に形成される beach cusp は前浜下段のものよりスパンが大きく、異常に高い波の来襲があるまで、その形状は変らない。large cusp は特に大きな海象変化がなければその移動は少ない。

(2) beach cusp の形成には前浜部の海浜勾配が、また large cusp は沖側の海底勾配が効果的である。

(3) 砕波形式によってカスプの形成が異なり、 $\xi_0 > 0.5$ では beach cusp が、 $\xi_0 < 0.5$ では、large cusp の形成が顕著となる。

(4) 海浜砂の相違によるカスプとの明確な関係については、今回の高知海岸での調査では見出すことができなかったが、 $s_0 = 1 \sim 3$ において beach cusp が形成されている。

(5) スパンの大きいものが、幅が大きく、比例関係を見ることができる。

(6) カスプの現地調査結果と従来の実験結果とはよい対応が見られた。

付記：この研究を進めるにあたり、高知大学農学部上森千秋教授および京都大学防災研究所土屋義人教授より御懇切な御指導と御鞭撻を賜わった。また現地資料の収集については建設省高知工事事務所および同鳥取工事事務所に御世話戴いた。さらに群馬大学教育学部山内秀夫氏には貴重な資料の提供と御教示を戴いた。ここに記して深甚の謝意を表わす次第である。

参 考 文 献

- 1) 玉井佐一：カスプの形成に関する研究，土木学会第21回海岸工学講演会論文集，pp. 115~120，1974.
- 2) 玉井佐一：海浜カスプの形成機構に関する研究，

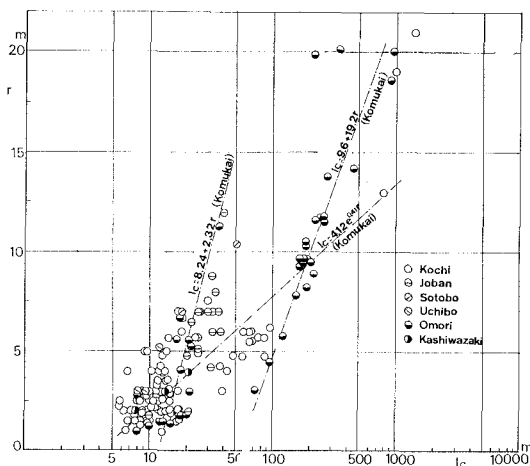


図-10 カスプの幅とスパンとの関係

- 土木学会第 22 回海岸工学講演会論文集, pp. 135 ~139, 1975.
- 3) Johnson, D.W.: Shore processes and shoreline development, John Wiley and Sons, New York, pp. 457~486, 1919.
- 4) Kuennen, Ph. H.: The formation of beach cusps, Jour. of Geol., Vol. 56. No.1 pp. 36 ~40, 1948.
- 5) Per Brunn: Migrating sand waves and sand humps, with special reference to investigations carried out on the Danish North Sea coast. Proc. 5th Conference on Coastal Eng., pp. 269~295, 1954.
- 6) 鈴木好一: 和歌山県宇久井海岸の beach cusps, 地質学雑誌, Vol. 40, pp. 813~814, 1933.
- 7) 土佐林忠夫・藤田兼吉: カスプについて(第 2 報), 科学, Vol. 20, No.10. pp. 470~471, 1950.
- 8) 小向良七: 函館大森浜付近の海岸侵食の研究(上巻), 水路部報告, Vol. 13, pp. 1~215, 1956.
- 9) King, C.A.M.: Beachs and coasts, Edward Arnold, Ltd., London, 569 p., 1959.
- 10) Zenkovich, V.P.: Processes of coastal development, Oliver and Boyd, 738 p., 1967.
- 11) Mii, H.: Beach cusps on the Pacific coast of Japan. Sci. Rep. Tohoku Univ., Vol. 29, pp. 77~107, 1958.
- 12) 茂木昭夫: 江ノ島および東海村付近沿岸の地形, 地理学評論, Vol. 32, No.3, pp. 121~134, 1959.
- 13) Hom-ma, M. and C.J. Sonu.: Rhythmic pattern of longshore bars related to sediment characteristics, Proc. 8th Conf., on Coastal Eng., pp. 248~278, 1963.
- 14) 山内秀夫: 砂浜海岸の Beach cusp について, 河海研究, No.1. pp. 9~24, 1963.
- 15) 白井 亨・土屋義人: 大潟海岸における 海岸変形の特性について(2), 海浜地形の特性, 京大防災研年報, 16 号(B) pp. 543~553, 1973.
- 16) Bascom, W.: 海洋の科学, 海面と海岸の力学, 吉田耕造, 内尾高保訳 pp. 230~233, 河出書房, 1970.
- 17) 茂木昭夫: 砂浜海岸の微地形に見られる規則性について, 海洋科学第 10 号, pp. 35~47, 1968.
- 18) 白井 亨・土屋義人・芝野照夫: 大潟海岸における海岸変形の特性について(3), カスプと底質特性, 京大防災研年報, 17 号 B pp. 597~606, 1974.
- 19) 茂木昭夫: 海岸および海底の rhythmic pattern について, 東北地理, 第 15 巻, 第 3 号, pp. 79 ~84, 1963.
- 20) 海洋科学基礎講座, 浅海地質学, 汀線と碎波帯, 東海大学出版会, 445 p.
- 21) 山内秀夫: 砂浜海岸の Beach cusp について, 東京教育大大学院理学研究科修士論文, 1959.
- 22) 波浪観測グループ: 日本海沿岸における 冬期波浪の観測資料集(1), 京大防災研年報, 16 号 B. pp. 555~576, 1973.
- 23) 堀川清司・佐々木民雄・堀田新太郎・桜本 弘: 海浜流に関する研究(第 3 報), 海浜流系の規模, 土木学会第 22 回海岸工学講演会論文集, pp. 127 ~134, 1975.
- 24) Battjes, J.A.: Surf similarity, Summary of 14th Conf., on Coastal Eng., pp. 466~480, 1974.
- 25) 日野幹雄: 応答性を考慮した海浜流系と海浜地形の発生, 発達に関する理論, 土木学会論文報告集, No.237, pp. 87~98, 1975.
- 26) 佐林忠夫・藤田兼吉・小池富治・新潟海岸のカスプ(序報), 科学, Vol. 19, No.9. pp. 419~420, 1949.