

## 玄界灘沿岸に発達する礫浜の形成機構

土田, 大芳  
九州大学理学部

下山, 正一  
九州大学理学部

坂井, 卓  
九州大学理学部

岡田, 博有  
九州大学理学部

<https://doi.org/10.15017/4494740>

---

出版情報：九州大学理学部研究報告. 地球惑星科学. 18 (1), pp.85-96, 1993-12-25. Faculty of Sciences, Kyushu University

バージョン：

権利関係：

## 玄界灘沿岸に発達する礫浜の形成機構

土田大芳・下山正一・坂井卓・岡田博有

### Formation processes of modern gravel beaches on the Genkainada coast of North Kyushu

Daiho TSUCHIDA, Shoichi SHIMOYAMA, Takashi SAKAI and Hakuyu OKADA

#### Abstract

A number of small gravel beaches are distributed on the Genkainada coast, North Kyushu. These gravels are monomictic, composed mainly of basaltic rocks. Such beaches provide a good example for the study of formation mechanisms of gravel beaches, which have been little understood.

In this study, mechanisms of preservation of gravel as well as supplying systems and provenances of gravels were investigated at seven beaches of Tsuyazaki, Aino Island, Keya, Hime Island, Taka Island, Kashiwa Island and Nanatsu-gama, all located along the north coast of Kyushu.

Among them, the Tsuyazaki and Keya coasts and Aino Island were chosen for detailed observations of the occurrence of gravels.

Judging from lateral changes of the roundness, clast sizes and their sorting, most of gravels from these beaches were successfully traced to their source points, which are composed of talus deposits from Pliocene basaltic lavas. Gravels are, in general, finally buried at the distal points by sands.

According to observations, boulders and large cobbles are moved over several meters only during very strong waves, measuring more than 2.5m of wave height. Those strong waves with the trend of wave directions toward SE to E are observed predominantly in the winter season, which control the morphology of gravel beaches.

Based on a 15 to 30 year-long time-lapse check on air-photographs, it seems to take much longer period than several tens of years for significant changes of the form of gravel beaches on the Genkainada coast.

#### I. はじめに

波浪の作用する外洋に面する堆積性海岸では、後浜部、砂浜や浜堤、それに海岸砂丘などの発達が良いことが多い。これらの地形の多くは通常砂から構成されている。しかし、ごく一部に、礫を主体とする海浜(礫浜)が見られることがある。このような海浜の礫浜堆積物には礫の供給源から移動してきた堆積物として、波浪の強さ、運搬機構および海岸形態の変化についてのさまざま

な情報が含まれている。

宇田・山本(1991)、宇田ほか(1991)は現地観察と海岸模型による実験で、礫浜から構成される砂嘴の形状変化を考察している。特に宇田・山本(1992)は北海道野付崎の砂嘴について、地形特性と周辺の砂や小礫の粒径変化から、沿岸標砂の方向や堆積物の供給源などを推定した。礫浜の堆積物の特性と形成過程については、中山(1962)やCARR and BLACKLEY(1974)の研究がある。中山(1962)は礫の微地形を考慮して、節

分法による礫の粒径、円磨度、偏平度に基づく研究を行ない、運搬堆積過程について考察した。CARR and BLACKKEY (1974) は礫径、礫種や礫浜の微地形から、礫の供給源と形成機構を論じた。この他、DOBUKINS and FOLK (1970) は運搬に伴う礫の類型変化を研究している。

しかし、礫の供給源が多様な場合や多くの礫種で構成される場合は、礫の密度、風化傾向、岩石強度の異方性などが円磨度や偏平度に大きく影響するため、供給源や礫浜の形成機構の推定には困難な問題が多い。また、礫径分布だけを考へても、礫浜の  $1\text{ m}^3$  に含まれる全ての礫を測定して、そのサイズ頻度分布形を正確に求める作業はほとんど不可能である。

北部九州玄界灘沿岸には、基盤岩の大分布が花崗岩類で占められているにもかかわらず、第三紀鮮新世に噴出した玄武岩台地や玄武岩質岩頸地形が各地に断片的に存在し、その周辺にはほとんど玄武岩礫のみから構成されている小規模な礫浜が発達している。これらの礫浜では、岩種による個々の礫の岩石密度の違いを考慮する必要がなく、大きさと形状だけを手がかりとして、礫浜への礫の供給や侵食・堆積機構の研究が容易にできる。一方、礫を移動させる原因となる波浪の大きさと方位が玄界灘の2ヵ所で実測されているため、気象庁発行の沿岸波浪図と組合せて、波浪発生時の頻度や発生時の気象状況が把握し易い。

礫浜ではみかけ上、一定方向に進むにつれて礫の大きさの変化が認められる。しかし、観察によって得られる礫浜の礫の大きさの印象は、全ての礫のサイズ頻度分布ではなく、大きい礫の集合が選択的に観察されている傾向にある。そこで、これを数値化するため、筆者らは確率的考へに基づき、礫浜の一定面積に出現する最大礫100個のサイズを測定し、その礫径の変異幅を標準偏差として計算した。このデータを新たな手がかりとして、円磨度と組み合わせることで礫の供給源を推定する方法を検討した。

筆者らは礫浜の形成過程と、それが維持される機構、礫の供給源を明らかにする目的で、高波浪発生時の気象、高波浪による礫の移動方位、最大礫100個の平均礫径と標準偏差、円磨度の調査を、津屋崎町渡(わたり)、新宮町相ノ島(あいのしま)、志摩町芥屋(げや)、志摩町姫島、唐津市高島、唐津市七ツ釜、唐津市神集島(かしわじま)

の7ヵ所の礫浜で実施した。特に津屋崎、相ノ島、芥屋を重点的に調査し、多くの新たな知見が得られた。

## II. 玄界灘沿岸に分布する礫浜の概要

玄界灘沿岸には、唐津の虹の松原、福岡市西部の生の松原、福岡市東部の海の中道などに代表される砂浜が多数存在する。一方、津屋崎、相ノ島、今津、芥屋、姫島、高島、神集島、七ツ釜には、砂浜より分布規模は小さいが玄武岩礫を主体とする礫浜が発達している(第1図)。これらの礫浜はいずれも規模が小さく、半島や島嶼から延びているのが特徴である。今回の研究では岩石海岸にある転石状の礫浜ではなく、礫浜が州や浜堤のように長く延びているものを研究対象とした。

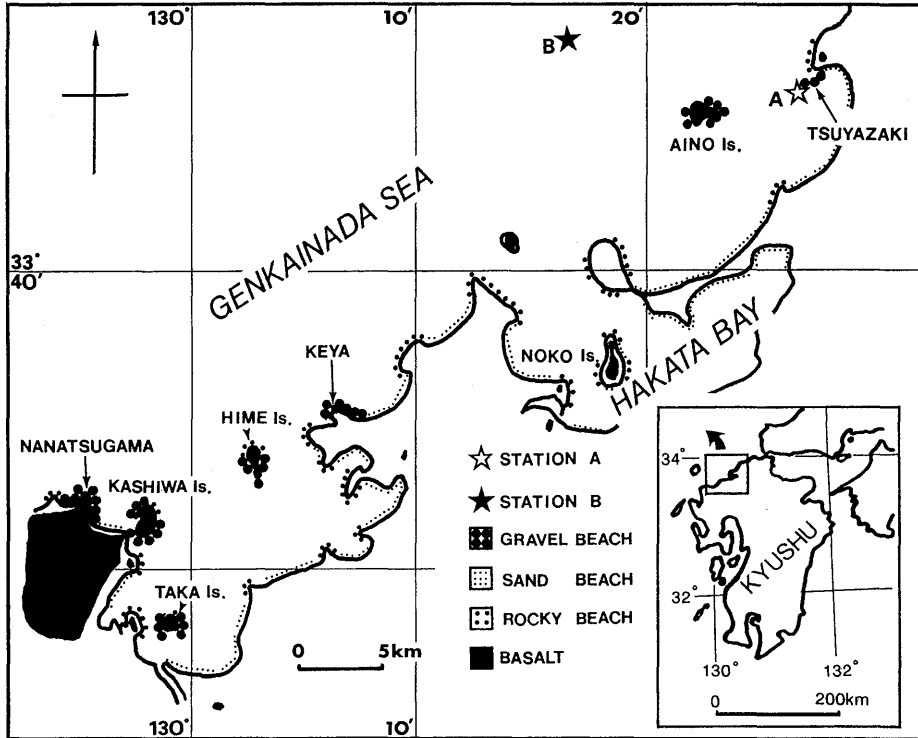
調査対象とした礫浜で礫種を観察すると、津屋崎と姫島では、礫の大部分が玄武岩礫で占められ、ごく少量の花崗岩礫や古第三紀層起源の礫岩礫が混入しているが、相ノ島、芥屋、高島、神集島、七ツ釜では礫浜のほぼ全ての礫が玄武岩から構成されている。

玄界灘の玄武岩は多くの島嶼や半島を形成しているほか唐津周辺や松浦半島では、広い溶岩台地を形成している。NAKAMURA et al. (1986) および宇都・岩森(1987)によれば、玄界灘沿岸のこれらの玄武岩の噴出年代は、2.5-3.0Ma前とされている。これらの鮮新世の玄武岩を載せている基盤岩は、津屋崎、神集島、七ツ釜では古第三紀の堆積岩類、芥屋、姫島、高島では白亜紀の花崗岩類である。

## III. 調査方法

### 1. 礫の計測

各礫浜相互の共通点と相違点を知るために、まず礫浜の地形の観察、微地形の測量と地形区分、礫種の同定を行った。ついで、礫浜の礫の大きさを観察した。その結果、みかけ上、礫浜の海岸線に沿って礫径の変化が認められたので、礫浜の礫を計測した。礫の取り出し方や礫径の計測方法については従来多くの研究例がある。SNEED and FOLK (1958) は1/4ヤード四方より広い面積の範囲から礫を50個取り出し、その長軸を測っている。DOBUKINS and FOLK (1970) は河川の礫については、任意に棒を投げて、その棒に当たった礫を10個ずつ、4つのサイズクラスに分け合計40個取り



第1図 玄界灘沿岸に発達する礫浜の分布図

A：九州大学応用力学研究所波浪観測ステーション

B：運輸省港湾技術研究所の玄界灘波浪観測ステーション

Fig. 1. Distribution of gravel beaches along the Genkainada Sea.

A：The Wave Observation Station, Research Institute for Applied Mechanics,

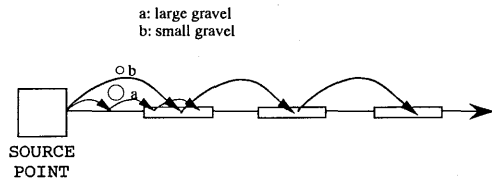
Kyushu University. B：The Genkainada Sea Wave Observation Station, the Port

and Harbour Research Institute, Ministry of Transport.

出して測定した。礫浜の礫については、汀線に直角方向に5ヵ所地点を設け、目をつぶって礫浜に棒を突き刺し、棒に最も近い礫を他の一人が採取して河川の場合と同様に4つのサイズクラスに分け、同じサイズクラスにつき10個ずつ、合計40個の礫を抽出した。この研究は礫径を4つのサイズクラスに固定させて礫の円磨度や形態について分類するものである。WELLS and HARVEY (1987) は0.25m<sup>2</sup>の面積中の礫を写真撮影し写真に縦横一定間隔で引いた線の交点にかかった30個について、礫の中間軸を計測している。宇田・山本 (1992)、中山 (1962) の場合は礫浜の礫径が小さいため、一定面積の堆積物をとって篩分法を用いてサイズ頻度分布を調べ、その中央粒径値の変化を調べている。しかしこれらの計測方法では観察から得られるようなはっきりした傾向は出現

していない。これは実際の礫の粒径頻度分布と表面観察による、見た目の粒径変化とが一致しないことが原因である。また、礫径が大きくなると、事実上一定体積の堆積物の採取と計測は不可能である。

そこで本研究では礫の供給源とその方向における礫径、円磨度、標準偏差の変化を知るために、礫浜の調査方法を新たに工夫し、次のように規格化した。これは現地において一定面積中に出現する礫のうち、大きい方から100個の礫について、その平均礫径（以下、大100平均礫径と呼ぶ）とばらつき（標準偏差）を計測し、全体としての円磨度を判定する。これは礫全部の平均礫径を調べるのではなく、限定面積に出現した礫のうち、最大径の礫を含む大型礫のばらつきの大きさを比較しようとする方法である。ただし、標準偏差には



第2図 1点からいろいろな大きさの礫が供給され、運搬拡散されたときに生じる礫の分級程度と距離の関係を示すモデル

Fig. 2. A sorting model with size variation of gravels in given areas.

礫の平均値に基づく過大評価分が含まれるので、以下の標準偏差はこれを差し引いた補正值を用いた。

特定の供給源から礫が供給され、拡散する場合、一定面積に出現する礫群の礫径のばらつきの変化は第2図のように説明される。いま、生産されたばかりで粒径のばらつきの著しい礫の集合が礫の生産源S (source spot) にあり、これを出発点として、矢印方向に礫が繰り返し移動する単純な移動・拡散モデルを考える。Sからは矢印方向に等間隔で一定面積の測定枠、A, B, C, が設置されるものとする。また礫は球形で密度が同じで、礫径の違いだけが存在するものとする。

Sから出発した礫径のばらつきの著しい礫群が数回の移動アクションを経た後、礫の大きさに基づく“跳び”の大きさの差によって、分級が生じる。すなわち、岩石密度が同じで浮力が無視できる程度なら、小さな礫は大きな礫よりわずかに“跳び”が大きくなるので、Sから離れば離れるほど一定面積に出現する礫の平均径が小さく、かつ礫径のばらつきの小さなものになる確率が高まる。礫の平均径と礫径のばらつきの大きさはSからの距離と移動アクションの回数に反比例する関係にある。このモデルは Shimoyama and Fujisaka (1992) の貝殻堆積物のランダム拡散モデルのうち、拡散係数(跳びの大きさ)に差があるときの確率モデルを基礎としている。

一方、角張った礫は移動アクションを繰り返すことによりしだいに角がとれて丸みを帯びてくるので、円磨度は高くなる。円磨度は礫生産後の移動アクションの回数(あるいは移動時間の長さ)と明らかに関係する。従って礫径や礫径のばらつきが大きく、礫の円磨度が低いほど礫の供給源に近いと見ることができる。

礫の測定は芥屋、相の島、津屋崎の3地域の礫

浜で行われた。各礫浜の礫帯の水平分布の中心線に沿って測定地点が設けられた。津屋崎では1m×1m、芥屋と相の島の場合は3m×3mの一定面積の中の礫を大きい方から100個採取し、礫の最大長径を長軸とし、その直角方向で最も短い部分の長さを短軸として計測した。長軸の直角方向には最も短い部分と長い部分(中間軸)が存在する。しかし、礫の長軸と中間軸と短軸の和を3で割った値と長軸の長さ、短軸の長さの和を2で割った値の差は実際にはごくわずかであったため、作業の効率上、礫の大きさとして、長軸の長さ、短軸の長さの和を2で割った値を採用した。同時にこれらの100個の礫の集団について、KRUMBEIN (1941) の印象図を用いて、円磨度を決定した。KRUMBEINの円磨度は0.1から0.9までの9段階に区分され、0.9が最も円磨度が高い。このような方法で得られたデータは地域毎に集計され、グラフで解析された。

これとは別に、芥屋では、形状の分類のために礫の立体的な形状変化をSNEED and FOLK (1958)の方法で調べた。この方法は個々の礫の長軸の長さL、中間軸の長さI、短軸の長さS、を測定し、これらのデータから $S/L$ 、 $(L-I)/(L-S)$ 、最大投影球形度： $\Psi_p = \sqrt[3]{(S^2/L \cdot I)}$ の値を求めて、形状分類図上にプロットして解析するものである。また礫浜の礫とを比較する目的で、芥屋の最北端に位置する火道玄武岩露頭で柱状節理の節理系によって分割されている岩塊100個についても、礫浜の礫と同様の調査を行った。

## 2. 礫浜の安定性と波浪の調査

礫浜の大きさや位置の安定性を確認するために、既存の航空写真を用いて現在の礫浜との地形変化を比較した。また実際の礫の移動時の波浪の大きさを知るために、高波浪時の海岸での礫移動を現地観察し、その時の気象庁沿岸波浪図を参照して沖合いの波高を調べた。次に、礫の供給、消費状態を知るために礫浜と砂浜の境界部分の調査を行った。

一方、礫浜の長さや礫浜の延びの方位が調べられた。この方位と実際の高波浪の方位との関係を考察するために、運輸省港湾技術研究所の玄界灘波浪観測ステーションと九州大学応用力学研究所の海洋観測ステーションで観測された記録を参照した。

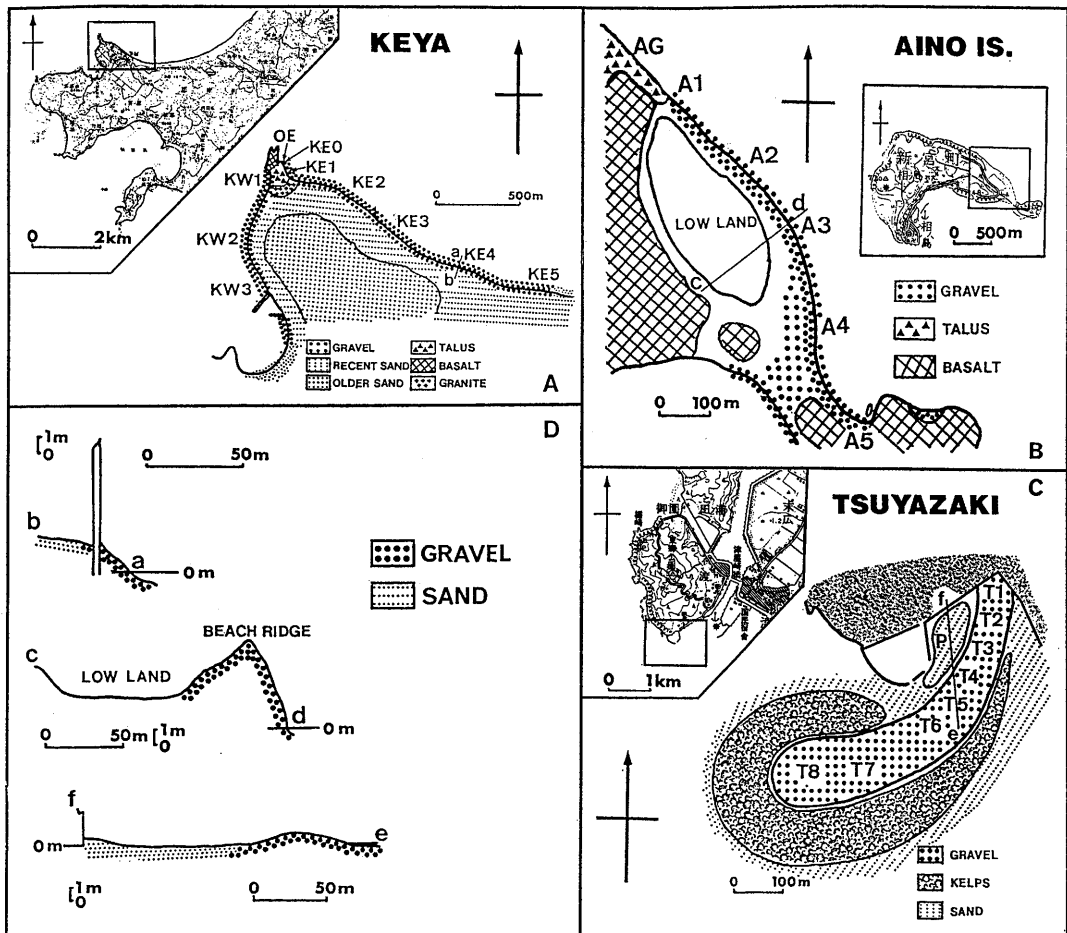
IV. 礫浜の調査結果

1. 礫浜地形の最近の変化

礫浜は明かに現在の海岸線に規制された分布を示している。このため、筆者らは玄界灘の礫浜は頻繁にその姿を変えていると考えた。そこで、最近数十年間の礫浜の形態の変化を知るために、国土地理院の既存の航空写真(8,000分の1)を観察した。1962年と1975年と1990年に撮影された津屋崎の礫浜の航空写真を比較し、およそ30年間の変化を調べた。その結果、礫浜地形の位置や形状の変化は認められなかった。芥屋においても同様

の比較を行ったが、1974年から1988年までの15年間の礫浜の変化は認められなかった。

この結果、礫浜地形は少なくとも数十年オーダーでは顕著な地形変化を生じていないことが判明した。したがって大まかに見た場合、現在の礫浜は礫の供給と消費(砂浜での埋没)が量的に釣り合った、平衡状態にあるものと判断される。海岸線は地質時代を通じて移動を繰り返しているが、現在の海水準は過去6,000年間同様な高い位置にあるので、この間に礫浜が形成され、平衡状態に達したものとみられる。



第3図 礫浜の地形

A: 芥屋, B: 相ノ島, C: 津屋崎

Dは調査地域の代表的礫浜断面を示す. ab: 芥屋, cd: 相ノ島, ef: 津屋崎

Fig. 3. Morphology of some representative gravel beaches.

A: Keya, B: Aino Island, C: Tsuyazaki, D: profiles at the studied beaches, A to C.

## 2. 礫堆積物の特徴

### 1) 芥屋海岸 (第3図A)

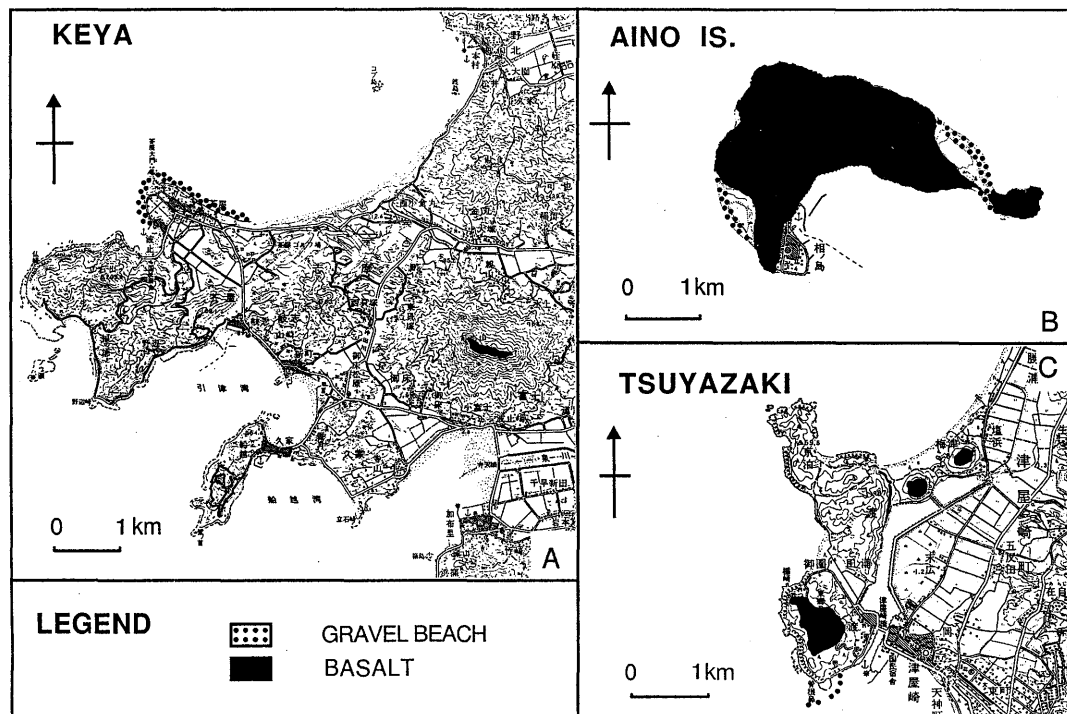
芥屋海岸は半島状地形をなしており、半島の先端には“芥屋大門 (けやのおと)”と呼ばれる特別天然記念物に指定された火道玄武岩の柱状節理や海食洞がある (第3図A, 第4図A, 第10図)。芥屋の大門の玄武岩は白亜紀の花崗岩を垂直に貫く火道玄武岩 (岩頸) である。火道の周囲の花崗岩はその大部分が海岸侵食で失われているが、南東の半島基部で花崗岩は、火道と接している。この花崗岩斜面の上を玄武岩礫からなる小規模な崖錐堆積物がうすく覆っている。芥屋海岸付近には火道以外の玄武岩は現在存在しないが、芥屋大門の東南東5kmにある可也山山頂には玄武岩溶岩が存在している (第4図A)。

礫浜は芥屋の大門を中心に西側 (KW) では南南西方向, 東側 (KE) では東南東方向の2方向に延び、とくに東側での発達がよい。礫浜の両末端部では礫が砂に埋没し、急速に砂浜へと遷移している。礫浜の礫はごくまれに花崗岩が認められ

る他はすべて玄武岩から構成されている。芥屋の礫浜を東部と西部に分けて、調査地点を設定した (第3図A)。それらは芥屋東部は地点 KE 0-KE 5, 芥屋の西部では KW 1-KW 3, 大門の東側の火道の柱状節理の露頭は OE である。芥屋東部の礫浜の長さは約1500mである。

各地点で測定された礫の, 大100平均礫径, 標準偏差, 円磨度の変化は第5図と第1表に示されている。芥屋東部では, 地点 KE 0を除き, KE 1から KE 5にかけて礫の大100平均礫径と標準偏差がしだいに小さくなる傾向にあり, 円磨度も高くなっていく。しかし, KE 0では礫の大100平均礫径と標準偏差は KE 1に比べて小さい。芥屋西部では, KW 1から KW 3に向かって円磨度が高くなり, 礫の大100平均礫径が小さくなる。

第6図は, SNEED and FOLK (1958) ダイアグラムである。礫の形状を示すため, 芥屋東部の各地点における礫の形状をこのダイアグラムを用いて示した。これによると, 全ての地点の礫は球形 (equant or compact) または立方体に近い, ほぼ



第4図 玄武岩の分布図 (山口ほか, 1984, 1985)

A: 芥屋, B: 相ノ島, C: 津屋崎

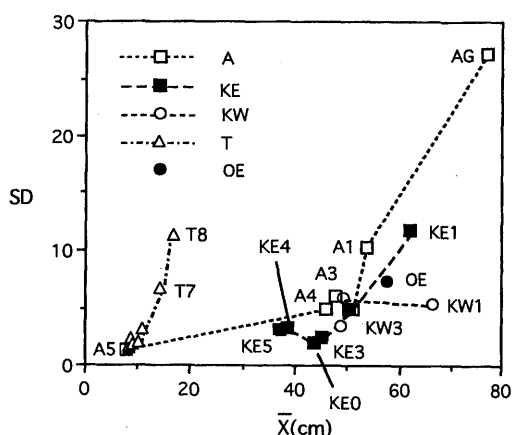
Fig. 4. Distribution of basalt (after YAMAGUCHI *et al.*, 1984, 1985).

A: Keya, B: Aino Island, C: Tsuyazaki.

第1表 礫浜の礫円磨度

Table 1. The roundness of gravels determined with KRUMBEIN'S (1941) method.

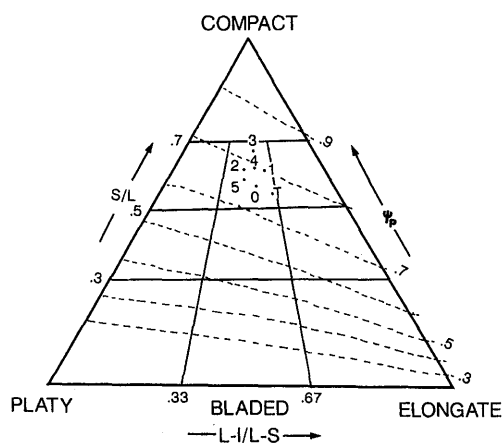
TSUYAZAKI	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8
ROUNDNESS	0.8	0.8	0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	0.4
AINO IS.	AG	A1	A2	A3	A4	A5		
ROUNDNESS	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.9		
KEYA EAST	KE0	KE1	KE2	KE3	KE4	KE5		
ROUNDNESS	0.4	0.4	0.6	0.6	0.6	0.7		
KEYAWEST	KW1	KW2	KW3					
ROUNDNESS	0.4	0.6	0.6					



第5図 各礫浜における平均礫径 ( $\bar{X}$ ) と標準偏差 (SD) の関係

A : 相ノ島, KE : 芥屋東部, KW : 芥屋西部, T : 津屋崎

Fig. 5. Relation between average gravel sizes and their standard deviations. A : Aino Island, KE : Keya east, KW : Keya west, T : Tsuyazaki. For other symbols, refer to Fig. 3.



第6図 Sneed and Folk ダイアグラムによる KE 地点の礫の形状

0—5, T はそれぞれ KE 0—KE 5, OE 示す。

Fig. 6. Ternary diagram showing gravel forms at the KE sites in Fig. 3A. Based on SNEED and FOLK (1958).

0—5 and T correspond Ke0—KE5 and OE, respectively.

似た形状である。これらのうち、柱状節理である OE の岩塊は長柱状 (elongate) 側に比較的近い。

2) 相ノ島 (第3図B)

相ノ島は半円弧状の形態を示す玄武岩の島である (第4図B)。最も幅の広い島の中央部は玄武岩台地をなし、台地は南側に緩く傾斜している。島の北側は玄武岩の切り立った海食崖となり、玄界灘と直接接している。断崖は玄武岩台地の東と西の端では台地末端の崖の傾斜がゆるく、玄武岩の崩積物からなる崖錐堆積物が波打ち際まで埋めている。島の東端の岬部分は柱状節理のよく発達

した火道玄武岩からなり、海蝕洞が発達している。礫浜は島の東部及び西部に認められる (第3図B)。東部の礫浜は玄武岩台地部分の東端からのびて、島の東にある火道の岩礁を陸繋したもので、礫浜の背後には、窪地が存在する。この窪地は礫の浜堤背後の低地で、現在は水田となっている。礫浜の礫はすべて玄武岩礫である。

東部の礫浜の規模が大きいため、礫浜の調査地として選んだ。崖錐堆積物とつながる礫浜の西端から東端の火道玄武岩までの間の礫浜に AG および A1 から A5 までの6つの調査地点を設置



した(第3図B)。AGは崖錐堆積物で、A1からA5までの調査地点と同じ条件で調査した。

相ノ島の礫浜において得られた礫の大100平均礫径、標準偏差、円磨度の変化は第5図と第1表に示されている。地点A1からA5にかけて、大100平均礫径およびその標準偏差がだいたい小さくなり、円磨度は逆に高くなる。AGおよびA1からA5の礫浜の礫を比較すると、AGの大100平均礫径、標準偏差が最大で、円磨度は最も低い値を示した。

### 3) 津屋崎(第3図C)

津屋崎西方の渡(わたり)半島の南端に小規模な浜堤状礫浜が存在する。礫浜は海岸線と平行せず、半島の南端の西鉄津屋崎病院付近から南西に向かって、海中へ斜めに突き出た特異な形をしている。礫浜の大部分は満潮時には海面下となる。第3図Cの堆積地形のうち、礫浜部分は干潮時に海面上にでる部分を、“kelps”は海藻の繁茂する場所を、P地域は砂質干潟部分をそれぞれ示す。

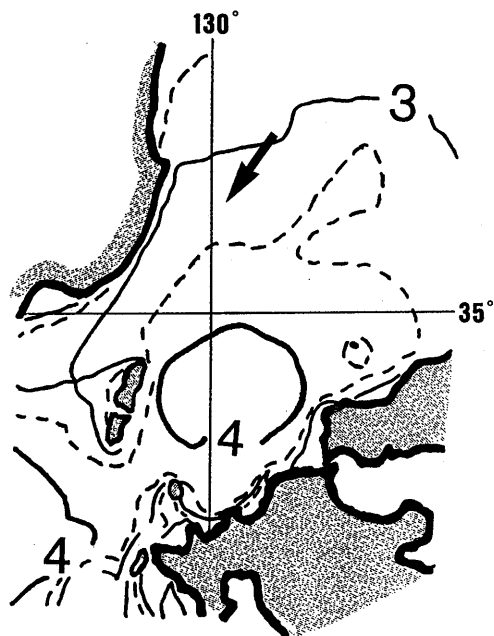
礫浜の礫は大部分が玄武岩であるが、花崗岩礫と古第三紀層の礫岩の礫が少量混入している。礫浜に接した場所には岩盤の露出がないが、礫浜の北方300mの場所に古第三紀津屋崎層の露頭が見られる。最寄りの玄武岩は海岸には存在せず、600m北方の山頂上部東郷公園の標高100m以上の場所に小分布が認められる(第4図C)。

礫浜軸部の南西方向の沖合に向かって、調査地点T1-T8を設置した。これらの地点での礫の大100平均礫径、標準偏差、円磨度の変化は第5図と第1表に示されている。津屋崎における礫の大100平均礫径と標準偏差はT1からT8方向、つまり岸から沖合に向けて増大し、円磨度は低下する。

### 3. 高波浪時の礫の移動

航空写真による数十年間の礫浜の形態変化はほとんど認められなかった。しかし、礫浜の全体的な地形変化や礫の全体的な収支に影響を及ぼすほどでなくても、個々の礫の移動は存在するはずである。そこで、礫の移動しうる波浪の大きさを知るために、高波浪時に礫の移動状況を芥屋と津屋崎で観察した。その結果、個々の礫の移動が確かめられた。

津屋崎の礫浜では、1992年9月28日の台風19号の前後、T5地点において礫が北へ2m移動した



第7図 玄界灘の沿岸波浪図(1991年10月10日の気象庁沿岸波浪図から作成)数字は波浪の高さm,実線と波線は等波高線,矢印は平均的な波浪の方向を示す

Fig. 7. Wave height distribution map in the Genkainada Sea produced by the authors from wave charts observed on October 10, 1991 by the Japan Meteorological Agency. Figures and contour lines indicate wave height, and an arrow indicates average wave direction.

ことが観察された。沖合いの約2kmにある九州大学応用力学研究所の波浪観測ステーションで実測されたデータによれば、そのときの沖合いでの波浪の高さは2mであった。

一方、芥屋の礫浜の礫は、津屋崎の場合と比較すると礫径がはるかに大きいので移動しにくいと考えられたが、芥屋礫浜東部KE5付近において、1991年10月10日に大100平均サイズの礫が2~3m程度の距離を移動したのが目撃された。その日の波浪の方位を知るために、気象庁の沿岸波浪図(第7図)を参照した。それによれば、この日の玄界灘一帯は、四国沖に接近した台風20号による、北東からの高波浪に見舞われていた。そのときの玄界灘沿岸の波高は3.0mから3.5mの状態であった。このことにより、少なくとも波高

3.0mの高波浪があれば芥屋海岸での礫の移動が生じることが判明した。

V. 考察

1. 礫の供給源

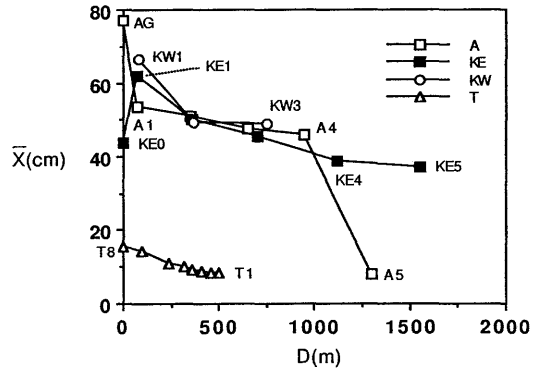
現在の礫浜形成の機構を、まず、礫の供給の面から考察したい。

第8図は、芥屋と相ノ島、津屋崎における大100平均礫径と供給源に近いとみられる調査点からの距離との関係を示している。崖錐と岩頸付近のAG, KE0, A5の3点を除くと、一般に距離が長くなるほど大100平均礫径が小さくなる。ただし、芥屋と津屋崎では単位計測面積が異なっている。このため、絶対値を比較する訳にはいかないが、その変化率は一定である。これは全礫浜とも、礫の移動距離に比例して同様の礫の分級がなされたためと考えられる。AGは崖錐、KE0, A5は岩頸付近のため、上記の調査点とは区別される。

第5図の大100平均礫径と標準偏差の関係および第1表に示した円磨度の変化傾向から、芥屋、相ノ島、津屋崎の礫浜では大100平均礫径と標準偏差が最大かつ円磨度が最小となる地点KE1とKW1, A1, T8付近がそれぞれ礫の供給源に最も近い位置にあると判断される。しかし、これらの地点はいずれも礫浜なので、真の岩屑の供給源はその最寄りの場所にあるに違いない。以下に、各地域の礫の真の供給源を考察した。

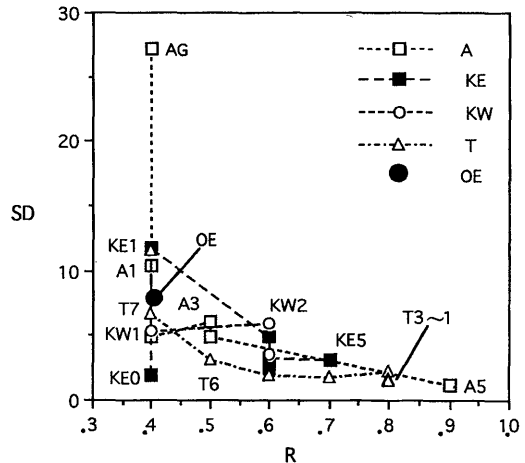
第9図は芥屋、相ノ島、津屋崎における礫浜の大100礫の標準偏差(SD)と礫の円磨度(R)との関係を示している。OEは芥屋大門付近の火道玄武岩東側の柱状節理系ブロックの径とその標準偏差をプロットしたもので、AGは相ノ島の崖錐堆積物を示す。一般に、礫の拡散を前提とした場合、初期値の如何に関わらず、供給源の岩塊の大100平均礫径の値は供給された場所の値と同じか、より大きくなければならない。反対に、供給源から遠ざかるにつれて、平均礫径や標準偏差が低下し、円磨度は高くなってゆく。

相ノ島では、地点A1からA5にかけて礫の大100平均礫径や標準偏差がしだいに小さくなり、円磨度が高くなることから、供給源に最も近いのはA1と考えられた(第5, 9図, 第1表)。A1のすぐ北西には崖錐AGが存在する。地点AGでは台地をつくっている玄武岩が崩壊して海岸ま



第8図 各礫浜の供給源からの距離(D)と平均礫径( $\bar{X}$ )の関係

Fig. 8. Relation between distance from gravel sources and average gravel sizes. For abbreviations, refer to Fig. 4.



第9図 各礫浜の礫径の標準偏差(SD)と円磨度(R)の関係

Fig. 9. Relation between standard deviation of gravel sizes and roundness of gravels. For symbols, refer to Fig. 4.

で落下して崖の中腹以下を埋め、崖錐堆積物をつくっている。その崖錐堆積物には巨礫を含む様々な大きさの礫が含まれている(第11図)。崖錐堆積物の玄武岩礫(AG)を同様の方法で計測した結果、大100平均礫径が77.1cm, 標準偏差が27.17, 円磨度0.4という値が得られた(第5, 8, 9図)。第9図のグラフ上で、相ノ島の崖錐礫AGの座標はA1~A5の座標よりはるかに上位にあり、供給源としての条件を十分満足している。したがって、相ノ島の礫浜の礫の供給源はAGの崖錐堆積物である。

芥屋東部では、地点 KE 0 を除き、KE 1 から KE 5 にかけて大100平均礫径と標準偏差がしだいに小さくなり、円磨度も高くなってゆくため、西方ほど礫の供給源に近いと考えられる（第5、9図、第1表）。また、芥屋西部では、標準偏差は変わらないものの、KW 1 から KW 3 に向けて大100平均礫径がしだいに小さくなり、円磨度も高くなっていくので、礫の供給源は北方ほど近いと考えられる（第5図、第1表）。これらのことから、芥屋の礫浜の礫の供給源は芥屋大門付近の火道の玄武岩露頭とみられた。

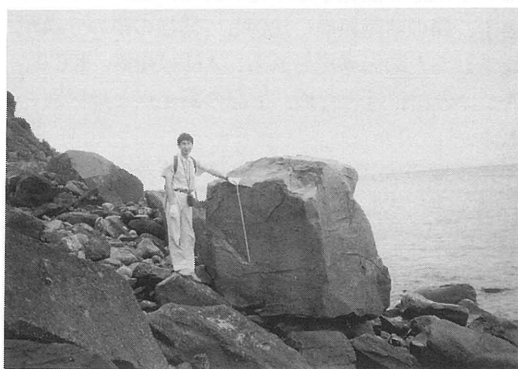
しかし、火道玄武岩の柱状節理 OE では節理で囲まれた玄武岩塊の大100平均岩径が58.6cm、標準偏差は7.8であった。この値は第9図に黒丸印で OE と記されている。芥屋の火道玄武岩の節理起源の岩塊の最大100個の平均径は KE 1、KW 1 より小さく、KE 0 に近い、このように節理系で区切られた火道玄武岩のブロックは、KE 1 や KW 1 の礫と比べて、小さいため、KE 1 以下の礫浜の真の供給源とは考えられない。真の供給源は、KE 1 に比べて、大100平均礫径がより大きく、円磨度がより小さいと期待される。相ノ島ではこの条件を満たしたのは崖錐堆積物であった。現在、芥屋には火道以外の玄武岩は存在しないが、崖錐性堆積物の残存物がごく僅か存在しているので、かつて KE 1 の上方に玄武岩溶岩が存在し、その崩落によって過去に膨大な崖錐堆積物を生産したと考えられる。芥屋の礫浜の礫は相ノ島と同様に、主として崖錐から供給されたものであろう。

津屋崎においては、岸側の地点 T 1 から沖側の T 8 にかけて、大100平均礫径、標準偏差は大きくなり（第5図）、円磨度は低下することから（第1表）、地点 T 7、T 8 が最も供給源に近いとみられる。T 7、T 8 には玄武岩の巨礫群があり、特に T 8 付近には長径 2 m ほどの礫が点在している（第12図）。しかし、T 7、T 8 周辺には、芥屋や相ノ島の場合と異なり、玄武岩の露頭や崖錐が全く見られなかった。そこで、津屋崎の T 8 付近の巨礫群（第12図）と相ノ島の崖錐（第11図）および芥屋の柱状節理玄武岩の写真（第10図）を相互に比較してみた。相ノ島北東部の供給源付近では、台地上の玄武岩が崩壊して海岸まで落下して崖錐堆積物をつくっている。その崖錐堆積物には多くの巨礫が含まれている（第11図）。これらの巨礫は、形状において津屋崎 T 8 地点のもの



第10図 芥屋東部、KE 0 付近の火道玄武岩にみられる柱状節理の発達

Fig. 10. Outcrop of the bent basalt with well-developed columnar joints. Photo taken near the KE0 site of Keya.



第11図 相ノ島 AG 地点の礫浜  
この地点は崖錐地域で、巨礫が多数点在する。スケールは 1 m.

Fig. 11. Photo showing scattered huge gravels of talus origin, taken at the spot AG on the Aino Island. Scale 1m.



第12図 津屋崎 T 8 地点付近の礫浜  
Fig. 12. Gravel beach near the spot T8 on the Tsuyazaki coast.

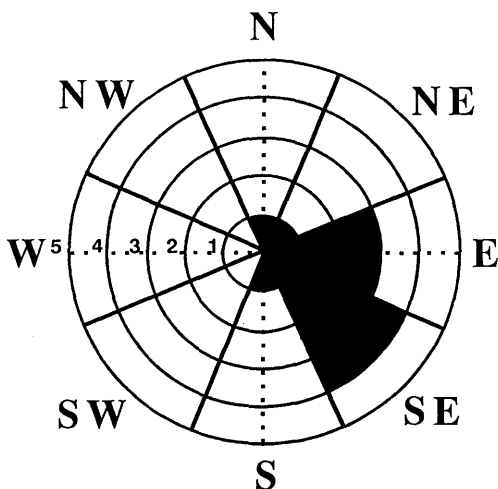
よく似ている (第12図). それゆえ, T8 地点にはかつて近接した崖錐堆積物からの礫の供給があったと考えられる. その後, 崖錐部分は海岸侵食によって失われたに違いない.

標準偏差で示される大100礫の礫径のばらつきと円磨度の関係は拡散に伴う礫の分級作用の推移をよく表わしている. これは礫浜だけでなく, 未固結ないし半固結状態の礫層の供給源解析にも応用できる手法であると考えられる.

## 2. 玄界灘沿岸の高波浪方位

礫浜の礫は供給源から遠ざかるにつれて大100平均礫径は小さくなり, 球形に近づくこと, 第三系や花崗岩類の海岸に玄武岩礫が分布することなどから, 長期的にみると, 礫の移動が生じていることが明らかである. また, 高波浪時の観察の結果, 少なくとも波高3.0mの高波浪で礫浜の礫の移動が生じることが判明した. このため, 高波浪が礫を移動させると考えられる.

第13図は運輸省の玄界灘波浪観測ステーション



第13図 玄界灘沖における波浪の方位と発生頻度を示すローズダイヤグラム. 1985年から1988年に観測された高波浪ベスト10を抽出 (小舟ら, 1985, 1986, 1987, 1988より編図). 単位は発生回数.

Fig. 13. Rose diagram showing wave directions and their frequency in the Genkainada Sea. Largest ten wave heights are shown, which were observed from 1985 to 1988. Based on the data by KOBUNE *et al.* (1985, 1986, 1987, 1988).

で1985年から1988年までの4年間に観測された高波浪の上位10位までのデータを波浪の向きと頻度をローズダイヤグラムで表現したものである. この波浪観測ステーションの位置は玄界灘沖の, 北緯33度48分, 東経130度16分の地点 (水深45m) である. このローズダイヤグラムを見ると, 北西から襲来する波浪の頻度が高く, 高波浪の卓越する季節は冬, 春, 秋, 夏の順となっている. このように玄界灘沿岸においては, 一般に北西~西方からの高波浪の発生頻度が圧倒的に高く, 礫浜の延長方位に強い影響を与えたと考えられる.

芥屋では先端にある岬から東南東及び南方向の2方向に礫浜が伸びている. 相ノ島の礫浜の伸びの方向は南東である. しかし, 神集島では, 芥屋と相の島のそれとは90度以上異なる南西方向に礫浜が伸びている. 姫島の場合は, 島から南南東方向に一本の尾のように伸びている. 高島の礫浜の伸びの方位は姫島と神集島との中間の南である.

これらの礫浜の伸びの方位は, 玄界灘の沖合いで実測された玄界灘波浪観測ステーションの波浪方位のローズダイヤグラムが示す北西からの高波浪とは部分的に調和しない. 芥屋, 姫島, 高島, 神集島の順に礫浜の伸びの方位をみると, しいに南東から南西に向かって変化している, これは元来の北西方向の波浪が壱岐の島で遮られて神集島に直接到達せず, 壱岐の島の東方から回り込んで来たことを示唆している.

一方, 津屋崎沖には九州大学応用力学研究所の

第2表 津屋崎沖波浪観測ステーションにおける1990年1月から1991年9月までに観測された高波浪のうち, 上位10位までの波浪方位と波高 (九州大学応用力学研究所未公表資料から許可を得て作成).

Table 2. The largest wave directions and wave heights observed at the Tsuyazaki Wave Observation Station from January 1990 to September 1991.

順位	日付	波浪の方位	波高	季節
1.	1990年3月12日	NW	3.8m	春
2.	1990年1月24日	NW	3.5m	冬
2.	1990年1月25日	NW	3.5m	冬
2.	1990年1月26日	S	3.5m	冬
5.	1990年9月27日	NW	3.2m	秋
6.	1990年12月11日	SW	3.0m	冬
6.	1990年12月26日	W	3.0m	冬
8.	1990年2月21日	W	2.6m	冬
9.	1990年9月20日	N	2.5m	秋
9.	1990年12月1日	W	2.5m	冬

波浪観測ステーションが存在し、波浪の波高と方位が観測されている。波浪観測ステーションで1990年1月から1991年9月までに観測された高波浪のうち、上位10位までのデータ(第2表)によると、2.5m以上の波高の波浪の来襲方位は北西～西からで、その卓越季節は冬である。津屋崎の礫浜の伸びの方位は東～東北東である。このため、津屋崎では北西～西方向からの波浪が地形的にやや屈折し、西～西南西となった波浪が礫浜に影響を与えたと考えられる。

## VI. まとめ

1) 芥屋と相ノ島において、限定面積内の礫の最大100個の礫の礫径とその標準偏差、円磨度に基づき玄武岩礫の供給源を求めた。その結果、供給源は相ノ島では崖堆積物に求めることができたが、芥屋での供給源は当初考えられた火道玄武岩に該当しなかった。芥屋の礫浜はKE1の直上にかつて存在した崖堆積物を供給源として形成され、現在に至ったと見なせる。

2) 現地観察から、巨礫や大礫の運搬には、波浪が強くなかかっており、かなり強い波浪状態の時のみに礫が移動する。しかし、運搬距離はごく僅かで、空中写真観察結果から、玄界灘の礫浜の形態変化は数10年のオーダーではなく、より長期的になされていると解釈される。

## 謝 辞

本研究をまとめるにあたり、西南学院大学の磯望教授と九州大学松田時彦教授には粗稿の校閲と種々の御教示、御討論を賜った。九州大学応用力学研究所の光易 恒名誉教授からは、波浪観測データの使用を許可して頂いた。運輸省港湾技術研究所ならびに福岡管区気象台の方々からは気象データの使用を許可して頂いた。山口大学理学部地質学鉱物科学教室の宮田雄一郎助教授には文献の紹介と御討論を賜った。以上の方々に厚くお礼申し上げます。

## 文 献

- CARR, A. P. and BLACKLEY, M. W. L. (1974) : Ideas on the origin and development of Chesil Beach, Dorset. *Proceeding of the Dorset Natural History and Archaeological Society*, 95 9-17.
- DOBUKINS, J. A. and FOLK, R. L. (1970) : Shape development on Tahiti-Nui. *Jour. Sed. Petrol.*, 40, 1167-1203.
- 小舟浩治・亀山 豊・菅原一晃・橋本典明・成田明 (1987) : 沿岸波浪観測年報 (1985). 港湾技研資料, (574), 3-27.
- 小舟浩治・亀山 豊・菅原一晃・橋本典明・成田明・後藤智明 (1988) : 沿岸波浪観測年報 (1986). 港湾技研資料, (612), 3-247.
- 小舟浩治・亀山 豊・菅原一晃・橋本典明・後藤智明 (1989) : 沿岸波浪観測年報 (1987). 港湾技研資料, (642), 5-259.
- 小舟浩治・亀山 豊・菅原一晃・橋本典明 (1990) : 沿岸波浪観測年報 (1988). 港湾技研資料, (666), 3-267.
- KRUMBEIN, W. C. (1941) : Measurement and geologic significance of shape and roundness of sedimentary particles. *Jour. Sed. Petrol.*, 11, 64-72.
- NAKAMURA, E., MCDUGALL, I. and CAMPLE, I. H. (1986) K-Ar ages of basalts from the Higashi-Matsuura district, north-west Kyushu, Japan and regional geochronology of the Cenozoic alkaline volcanic rocks in eastern Asia. *Geochem. Jour.*, 20, 91-99.
- 中山正民 (1962) : 熊野海岸における海浜堆積物について. 地理学評論, 35, 605-617.
- SHIMOYAMA, S. and FUJISAKA (1992) : A new interpretation of the left-right phenomenon during spatial diffusion and transport of bivalve shells. *Jour. Geol.*, 100, 291-304.
- SNEED, E. D. and FOLK, R. L. (1958) : Pebbles in the lower Colorado River, Texas, a study in particle morphogenesis. *Jour. Geol.*, 66, 114-150.
- 宇田高明・山本幸次 (1991) : 複合砂嘴の形成過程に関する実験的研究. 地形, 12, 357-365.
- 宇田高明・山本幸次 (1992) : 北海道野付崎の形成過程. 地形, 13, 19-33.
- 宇田高明・山本幸次・河野茂樹 (1991) : 砂嘴地形周りの海浜地形. 地形, 12, 117-134.
- 宇都浩三・岩森 光 (1987) : 西南日本新生代アルカリ玄武岩類の時空分布. 日本火山学会1987年秋季大会, 演旨集, 93.
- WELLS, S. G. and HARVEY, A. M. (1987) : Sedimentologic and geomorphic variations in storm-generated alluvial fans, Howgill Fells, northwest England. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 98, 182-198.
- 山口 勝・富田幸臣・亀山徳彦・下山正一・首藤次男 (1984) : 5万分の1表層地質図「福岡・津屋崎・神湊」並同説明書, 福岡県(編)土地分類基本調査報告書「福岡・津屋崎・神湊」, 33-57. 福岡県.
- 山口 勝・亀山徳彦・富田幸臣・下山正一・西山忠男 (1985) : 5万分の1表層地質図「前原・玄海島」並同説明書, 福岡県(編)土地分類基本調査報告書「前原・玄海島」, 24-33. 福岡県.