

大水深域を含めた広域の漂砂特性

——底質特性情報の分析に着目して——

李 在 炯*・入 江 功**・村上啓介***・佐藤 慎 司****

1. はじめに

近年, 都市開発のための用地を海上に確保することが多くなっている。これらの施設は一般に広大な用地を必要とし, 水深も 20 m~30 m に及んでいる。この場合, 沿岸域での自然の営みについて十分調査し, それまで残されてきた自然環境を極力保全することがミチゲーションの観点からも極めて重要である。このため大水深を含む広域での漂砂を明らかにする必要があるが, 対象域が広大となるため深浅測量による地形変化追跡など通常浅海域でとられる方法を取ることが困難である。本研究では, 対象海域の底質採取を行い, 粒度特性や鉱物組成などから出来るだけ多くの情報を得て, これらについて主成分分析(経験的固有関数法)にかけることにより広域の漂砂特性を評価した。

対象海域である北部九州の沿岸は, 自然海岸が大小のポケットビーチを連ねて残されており, ポケットビーチの両端には岩礁で出来ている岬があり, その間に滑らかな曲線の砂浜が形成されている(図-1)。その地形の特徴からポケットビーチ間を連絡する沿岸漂砂が存在せず, 各海岸毎に漂砂機構が閉じられていると一般的には考えられる。昨年に行なった汀線付近での底質特性を用いた沿岸漂砂の連続性の調査でもポケットビーチ間の漂砂の独立性が見られた(李, 武若, 小島, 入江ら, 1997)。しかし, 海浜断面の調査結果によると大水深域である沖合の漂砂は相互交換している疑いがあった。そこで今回大水深である沖合までの底質を採取し, 底質情報から広域にわたっての漂砂特性を調べた。

一方, 北部九州沿岸とは異なって単調な海岸線を持つ外洋性海岸である宮崎沿岸でも同様の方法を用いて漂砂特性の評価を試みた。

2. 北部九州海域の沿岸漂砂

2.1 海象条件

波浪観測は玄海灘ブイ(設置水深, 51.7 m)及び津屋

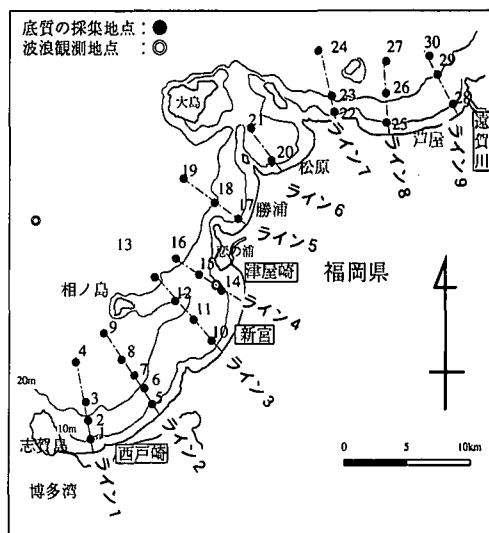


図-1 底質の採取地点—北部九州海域

崎沖の海洋観測ステーション(設置水深, 15 m)で観測されている。相ノ島の北西約 10 km 地点の玄界灘ブイで 1984 年から 1987 年までの間測定されたデータ統計によると年間を通して常時波は卓越波向が NE (22.9%)~NNE (16.2%) で, 高波 (2 m 以上) は NE (28.1%)~NNE (22.7%) の卓越波向が現れる。一方, 津屋崎沖 2 km の海洋観測ステーションの 1989 年から 1992 年までの統計資料によると常時波は NNE (10.0%)~N (8.4%) の卓越波向が現れる。また高波 (2 m 以上) は W (55.5%)~WNW (20.4%) の卓越波向が現れる。

玄海ブイは, 大水深に設置してあるので, 全方向の波の観測が可能であるが, 津屋崎の海洋観測ステーションは, 北方を岬で遮られているので, 西からの波がより強く観測できる。

2.2 底質分析

1) 底質分析の試験方法

九州北部海域の底質は 1997 年 9 月に図-1 に示す 9 つのライン上で水深 10~30 m の範囲(合計 30 点)から採集した。位置は GPS で測定し, 底質採取はグラブ式採泥器を用いた。採集した底質は海水を取り除いた後充分

* 学生会員 理修 九州大学大学院工学研究科
** 正 会 員 工博 九州大学教授 大学院工学研究科
*** 正 会 員 工博 宮崎大学助教授 工学部土木環境工学科
**** 正 会 員 (株)大成建設

混ぜ合わせ、約 150 g を取り出し、炉乾燥した。その試料を用い、ふるい分け試験を行った。ここで利用した粒径の大きさの単位は、底質分析で幅広く使われている ϕ スケールを用いて行なった。

$\phi = -\log_2 d$; ここで d は粒径 (単位: mm)

分析は計られた粒度分布から累積百分比曲線を求めた後、Folk and Ward の計算式を用いて ϕ 値による中央粒径 M_{ϕ} 、平均粒径 M_{ϕ} 、粒度分布の標準偏差 (sorting, σ_{ϕ})、偏歪度 (skewness, α_{ϕ}) を求めた (Lowis *et al*, 1994)。

$$\text{平均粒径 } M_{\phi} = \frac{\phi_{84} + \phi_{50} + \phi_{16}}{3}$$

$$\text{標準偏差 (sorting) } \sigma_{\phi} = \frac{\phi_{84} - \phi_{16}}{4} + \frac{\phi_{95} - \phi_5}{6.6}$$

$$\text{偏歪度 (spewness) } \alpha_{\phi} = \frac{\phi_{84} - \phi_{50}}{\phi_{84} - \phi_{16}} - \frac{\phi_{50} - \phi_5}{\phi_{95} - \phi_5}$$

(ϕ_{95} , ϕ_{84} , ϕ_{50} , ϕ_{16} , ϕ_5 はそれぞれ粒度加積曲線で累加百分率が 95%, 84%, 50%, 16%, 5 % に対応する粒径の ϕ 値。)

粒径が 2.0~3.0 ϕ の資料を約 10 g 取り、その試料を用いて重鉱物分析を行った。まず、試料から残留有機物や貝殻等の炭酸塩を除き、重液を用いて重鉱物、軽鉱物の分離を行った。重液にはポリタングステート液 (比重 2.85) を用いた (Mange *et al*, 1992)。重鉱物の観察は偏光顕微鏡を用いて行った。観察はそれぞれの測点で重鉱物の累計が 200 になるまで行い、それを全鉱物数と各鉱物数の比で表した。

2) 粒度分析

粒度分析の結果より得られた粒度組成を図-2 に示す。

平均粒径に着目すると、海域の東部の沖合で粗粒の粒子が存在し、西部では中粒砂が存在する。一方、その間のライン 5 付近ではシルト性の細粒砂が見られる等海域毎に底質が異なることが分かる。淘汰度に着目すると、海域の西部で淘汰度の悪い砂質が存在し、ライン 4、5 の付近から東側はよく淘汰された底質が存在する。一般的に、砂質の底質で淘汰度が良好になるとされているが、九州北部地域の西部での底質は砂質にもかかわらず不良な淘汰度を持っていることが分かった。偏歪度に着目すると、海域の西部である新宮海域の付近 (ライン 1~3) では、全域において正の値である。粒径が小さくなると偏歪度が負に、逆に粒径が大きくなると正に偏っていく傾向も見られることからこの海域に供給された底質は細粒砂が除去され、粗粒化された底質であると考えられる。津屋崎より東側では、正と負の値が混合している。土粒子の密度試験の結果によると、海域の西部では密度が低く海域の東部では密度が相対的に高い傾向を見せ、ライン 4 を境に異なる土粒子が分布している。以上の粒度分

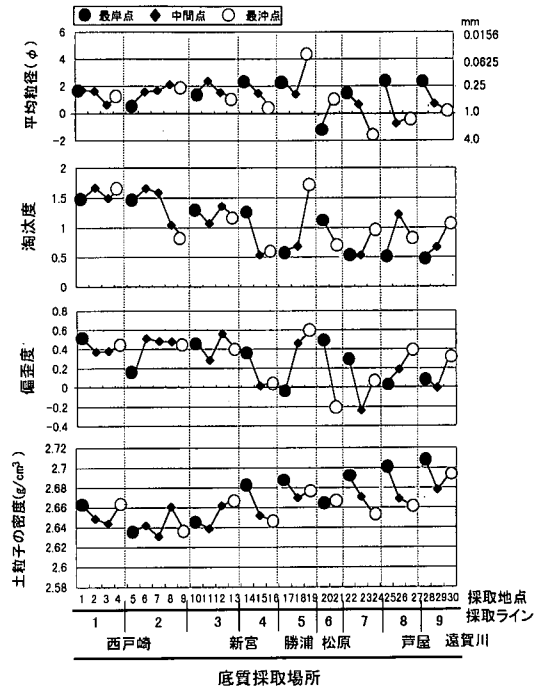


図-2 粒度分析による組織特性値—北部九州海域

析から、津屋崎を境に両海域で異なる粒度特性値を示しており、異なる堆積作用が働いていると考えられる。これは両海域の底質の供給源および地形の影響によって生じる海象条件などの差異による可能性が考えられる。

3) 重鉱物分析

重鉱物組成分析では、輝石類 (普通輝石、紫蘇輝石)、角閃石類 (褐色角閃石、青色角閃石、緑色角閃石、酸化角閃石)、不透明鉱物 (磁鉄鉱、チタン鉄鉱) が検出され、他にジルコン、ざくろ石等も含まれている (図-3)。

九州北部海域の東部と西部では角閃石類の鉱物が豊富に含まれており、ライン 3、4 の沖合からライン 7 に至る中間海域の広い範囲にわたり輝石類の含有量が高い事が分かる。この結果から以上の各海域は少なくとも 3 つの異なる組成特性を持つ底質が存在することが考えられる。しかしながら、西戸崎と新宮沖合及び遠賀川の河口の沖合では、その浅海域とは異なる鉱物の含有量を見せる所があり、沖合の底質が浅海域の底質をそのまま反映してはいない。すなわち、浅海域とは多少異なる漂砂系が沖合で存在する可能性が見られる。

2.3 九州北部の広域の漂砂特性

漂砂の広域特性を把握するため上記の主成分分析の理論を利用し、経験的固有関数法を適用した (加藤・吉松, 1984; 町田・駒崎・松浦, 1990)。主要重鉱物 12 種類において全域の各鉱物の平均含有量と場所ごとの各鉱物含有量との差 (変化量 (ΔV)) を空間関数 ($C_n(i)$) と組成関数

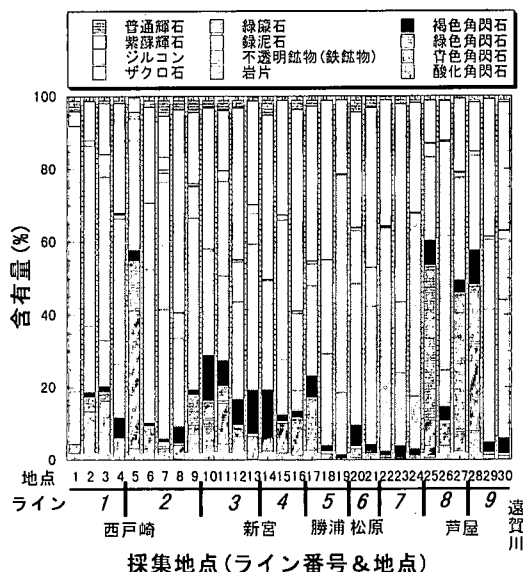


図-3 各調査地点の重鉱物—北部九州海域

$(E_n(x))$ の積の重ね合わせで表わす $(\Delta V(x, i) = \sum_n C_n(i) \cdot E_n(x))$, ここで i は場所, x は鉱物種類を示す). 具体的な方法は, まず場所ごとの各鉱物含有量と全域においての各鉱物の平均含有量との差 (ΔV) を求める. ある地点において各鉱物 (n_x 種類) 毎に求められた ΔV を順番に 1, 2, 3, 4, ..., 12 と番号を付し, この鉱物において n_x 測点で繰り返す. そして, $\Delta V(x, i) = \sum_n C_n(i) \cdot E_n(x)$ で表す. 経験的固有関数を求めるには, まず含有量のデータから主成分分析での分散共分散行列として

$$a_{ij} = \frac{1}{n_x \cdot n_i} \sum_{x=1}^{n_x} \Delta V(x, i) \cdot \Delta V(x, j)$$

素とする実対称相関マトリックス A

$$A = \begin{pmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} & \cdots & a_{1,30} \\ a_{2,1} & a_{2,2} & \cdots & a_{2,30} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{30,1} & a_{30,2} & \cdots & a_{30,30} \end{pmatrix}$$

を計算する.

$E_n(x)$ は, マトリックス A の固有ベクトルとして求める. すなわち,

$$AE_n = \lambda E_n (1 \leq n \leq n_x)$$

の関係を満たす. ここに, λ_n は固有値である. また, 各の重要度を表すパラメータとしてそれに対応する固有値により寄与率が次のように定義されている.

$$\text{寄与率} = \lambda_n / \sum_{i=1}^{n_x} \lambda_i$$

$C_n(i)$ は, $E_n(x)$ の直交性を利用して次のように求まる.

$$C_n(i) = \sum_{x=1}^{n_x} \Delta V(x, i) \cdot E_n(x)$$

解析結果, 経験的固有関数法により得られた第 1 モードの組成係数 $E_1(x)$ を図-4 に示した. これは, 採取した 30 サンプルの底質の重鉱物に含まれる各鉱物組成の割合を最もよく説明する (寄与率 65%) 鉱物の組成構造を示すもので, 平均値レベルに相当する $E_1(x)=0$ をベースとして示している. 先にも述べたように, 実際のサンプルに対する第 1 モードの鉱物組成を求めるには, 第 1 モードに相当する実際の鉱物組成 $= \Delta V_1(x, i) = C_1(i) \cdot E_1(x)$ であるから, 空間係数 $C_1(i)$ を掛ける必要がある. 今回の解析で求めた空間係数を, 図-5 に示す. 横軸は, 図-1 に示すライン番号で示してあり, 各ライン上の水深がそれぞれ 10 m, 15 m, 20 m, 30 m の採取点をそれぞれ図のマークで示した. この図から, 次の 3 種類の集合群が存在することが分かる.

- 1) $C_1(i) \gg 0$: ライン 1~2, 8~9 A1 グループ
- 2) $C_1(i) \approx 0$ or $C_1(i) \geq 0$: ライン 1~3 ... A2 グループ
- 3) $C_1(i) \leq 0$: ライン 3~7 A3 グループ

図-4 の $E_1(x)$ にこの $C_1(i)$ を掛けることで実際の鉱物組成 $\Delta V(x, i)$ が求まるわけである. 空間係数の分布から以下のようなことが言えるであろう.

- 1) 浅海域 (水深 10 m) の空間係数は大きく 3 つのグループに区分され (点線の囲み), それぞれ各グループ内で密接な関係をもっている.
- 2) 大水深域 (水深 15 m~30 m) において, ライン 4 からライン 7 までの空間係数は, 同じ区間の浅海域 (10 m) の空間係数と類似しており, これらの区間では先の汀線位置での底質特性においても沿岸方向に類似していたことを考えると, これらの海域では大水深域を含め, 隣接する海域と独立した漂砂特性をもっていることがうかがえる.
- 3) 浅海域の空間係数が, ライン 1, 2 とライン 3 とでは明らかに特性が異なるのに大水深域ではその 2 つの領域の中間的な特性を示している. これより, 浅海域では各ポケットビーチ間の漂砂が閉ざされていると考えられるものの, 大水深域では互いに連結している可能性が考えられる.

3. 宮崎海岸の沿岸漂砂

3.1 海象条件

我が国では代表的な外洋性砂浜海岸である宮崎海岸は, 単調な海岸線を持ち, 大淀川という主要な土砂の供給源を持っているため北部九州沿岸とは相当に異なった条件に置かれている (図-6). 宮崎港の波向別の波の年間発生頻度 (港湾審議会第 163 回計画部会資料) は, ESE からの波が最も多く (37.3%), 次いで SE が 33.4%, SSE

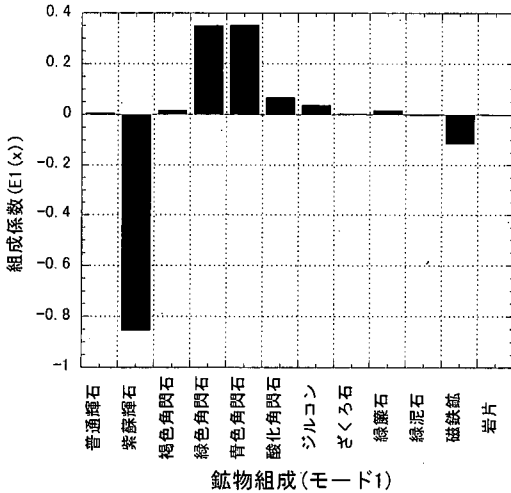


図-4 経験的固有関数法による鉱物の組成係数—北部九州海域—

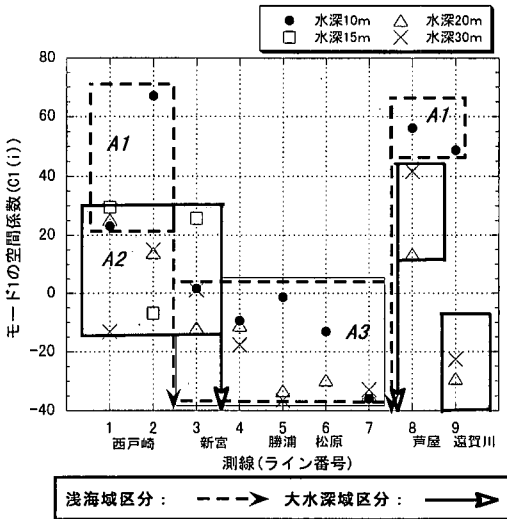


図-5 経験的固有関数法による鉱物の空間係数—北部九州海域—

が14.1%, Eが8.4%となっている。この結果から見る限り、宮崎海岸の沿岸漂砂の卓越方向は北向きということになる。しかし、1976年～1985年に同海岸において行われた目視観測によれば、Eからの波が最も多く次いでESE, ENE, SEの順となっている。これは岸からの目視観測によるものであって精度を落ちることも考えられるが、沖合の海底地形による屈折もあるものと考えられ、季節によっては南向きの沿岸漂砂も相当あると考える必要がある。

3.2 底質分析

宮崎海岸の底質は1997年10月に図-6に示す20点から中潮位時刻に汀線付近で採集した。位置はGPSを用

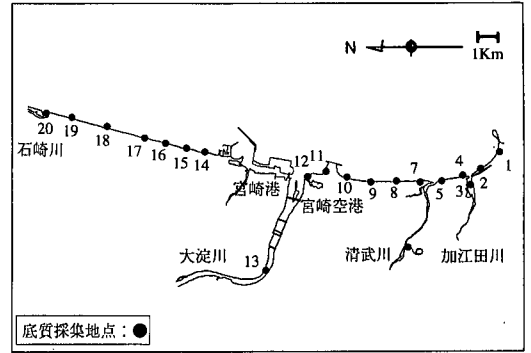


図-6 底質の採取地点—宮崎海岸

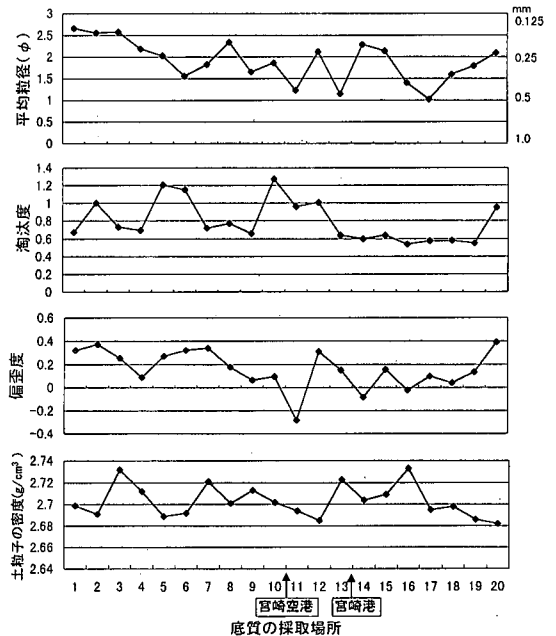


図-7 粒度分析による組織特性値—宮崎海岸

いて測定した。採集された底質は新宮海岸と同様な方法を使い、粒度分析、及び重鉱物分析を行なった。

1) 粒度分析 平均粒径に着目すると、全体的に南側が細粒砂、北側に行くほど粗粒砂になる比較的滑らかな変化傾向を見せている(図-7)。淘汰度に着目すると、大淀川を中心いくつかの河川の流入がある南側は場所ごとに値の変化が見られる。北側の方は南側より良好な淘汰度で安定していることから海砂は均一な粒径の砂であり、類似性を持つ底質である可能性が推測される。偏歪度に着目すると、ほとんどの地域で正の値を持っているが、一部測点では負の値も見せている。

2) 重鉱物分析 すべての試料で、輝石類(普通輝石、紫蘇輝石)が多い。次いで不透明鉱物、角閃石類(褐色角閃石、青色角閃石、緑色角閃石、酸化角閃石)が検出

される。

3.3 経験的固有関数法による分析

漂砂の特性を把握するため北部九州海域の場合と全く同じ考えで、主要重鉱物9種類に対し、新宮と同様な経験的固有関数法を適用した。

このうち、鉱物の含有量変化の割合が一番大きいモード1 (第1モード ($n=1$), 寄与率70%) について見ると、普通輝石、紫蘇輝石が強い関係を持ち、これらの鉱物含有量の変化量が大きいことを示している (図-8)。空間係数の差異を比べてみると、川の上流での底質に比べ沿岸部同士の空間係数の差異が小さいため、沿岸部では類似した鉱物組成を持つ海砂が存在すると考えられる (図-9)。しかし、沿岸部においても宮崎空港を境に多少異なる空間係数が見られるため大淀川の漂砂影響が北側より南側の方で薄くなると見られる。一方、最南端部と最北端部とは異なる空間係数が見られた。

大淀川は、宮崎海岸に土砂を補給している主要な河川であるが、底質分析による多くの指標から、この流域の底質特性が北側海岸の底質特性に非常に類似していることがわかった。一方、宮崎港～同空港より南の海岸では、これらとは異なった特性を有することがわかり、この海岸の沿岸漂砂の特性を浮き彫りにしているようである。すなわち、大淀川から排出された土砂の大部分は、宮崎海岸に沿って北側海岸に供給されていることが想定される。大淀川の影響の強い範囲は、No. 12より北側と考えられる。一方、南側海岸は、経験的固有関数法による解析結果 (図-9) において、負の空間係数が南の No. 1 から北向きにその絶対値が漸減する傾向にあることから見ても、さらに南の海岸から土砂供給がなされているものと考えられる。

4. 結 論

漂砂特性調査の有効な手段として底質分析を行ない、その豊富な情報をもとに大水深かつ広域に至る海域において漂砂特性が求められた。

本調査では、ポケットビーチが連なり、比較的に安定しているとされている北部九州の沿岸、及び大河川が流入し、比較的単調な海岸線を有する宮崎海岸を対象に底質調査を用いて漂砂特性を調べた。北部九州の沿岸は、大水深に至る広域の底質を採取し、底質分析を行なった。その結果、沿岸方向に底質特性が異なり、3つの漂砂系に区分されていた。それぞれの中で密接な漂砂特性を持っていると考えられる。また、浅海域では閉じた漂砂系の海域でも大水深域の漂砂は連続している可能性が示された。

宮崎海岸では、中潮位時の汀線付近でとった底質だけ

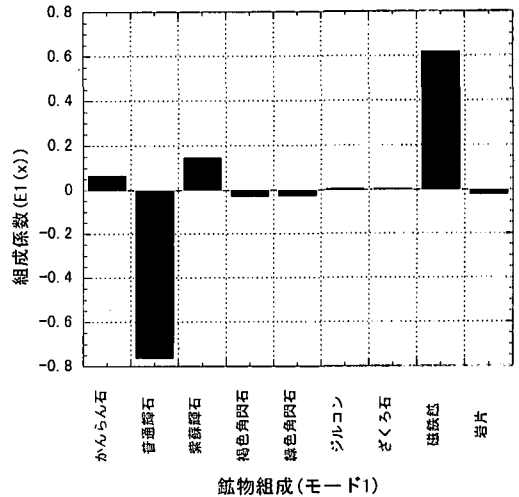


図-8 経験的固有関数法による鉱物の組成係数—宮崎海岸

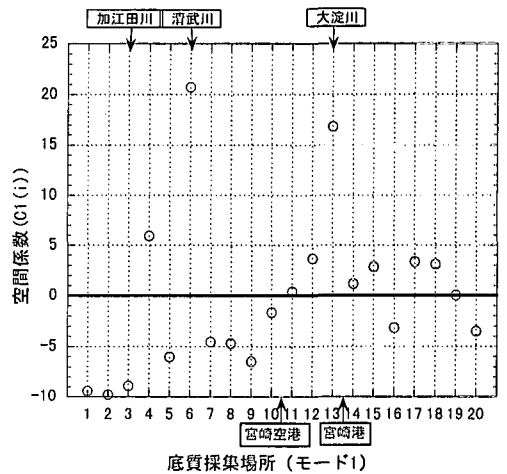


図-9 経験的固有関数法による鉱物の空間係数—宮崎海岸

の分析を行なった。底質分析の結果によると、沿岸部での漂砂は大淀川から供給され、広がっていく。特に北側の沿岸により強い影響を与えていると考えられる。

参 考 文 献

- 李 在炯・武若 聡・小島治幸・入江 功ら (1997): 北部九州のポケットビーチ間の沿岸漂砂の連続性について, 海岸工学論文集, 第44巻, pp. 651-655.
- 加藤一正・吉松 晃 (1984): 三次元の経験的固有関数による深淺図解析法, 港研報告, 第13巻, 第2号, pp. 27-87.
- 町田東一・駒崎友和・松浦武信 (1990): マトリクスの固有値と対角化, 東海大学出版会, pp. 23-41.
- Lewis, D. W. and D. McConchie (1994): Analytical Sedimentology, Chapman and Hall, pp. 92-129.
- Mange, M. A. and H. F. W. Maurer (1992): Heavy Minerals in Color, Chapman and Hall, pp. 11-19.