

海浜砂の粒度と分光反射率特性に基づいた海浜砂および漂砂系の分類評価に関する研究

泉宮 尊司*・忠平将典**・石橋 邦彦***

1. はじめに

近年、海岸侵食は全国的な問題となっており、沿岸域の土砂管理や漂砂系の解明は重要な課題となってきた。これまでの研究では、汀線変化や粒度特性の変化より、広域的な卓越漂砂方向の推定が行われてきた。しかしながら、近年では海岸侵食が激しく、砂丘地が侵食され土砂が供給されたり、海水浴場ではしばしば養浜が行われるなど、自然状態にあった海浜とは異なる海浜構成材料が含まれてきている。このような状況にある中で、広域漂砂系を精度よく推定するためには、鉱物組成までも調査する必要がある。熊谷ら(1997)および李ら(1999)は、底質の化学元素や鉱物組成を測定し、漂砂系を明らかにしようと試みている。しかしながら、化学元素や鉱物組成を調べて安定した比率を得るには、多大な時間と労力を要するため、その実施例は上記の研究を含めても極めて少ない。

そこで本研究では、鉱物組成の代わりに底質の分光反射率特性を詳しく調べ、粒度特性および砂鉄含有率のデータと共にクラスター分析することで、海浜砂の鉱物組成および粒度の類似度を定量的に測り、海浜砂の特性と漂砂系の分類を試みる。

2. 調査対象海岸および調査方法

2.1 調査対象海岸

調査対象海岸として、信濃川より南西の海岸で角田浜までの海岸（以降新潟南西部海岸と呼ぶ）と阿賀野川より北東の海岸で三面川までの海岸（以降新潟北東部海岸と呼ぶ）の二つの海岸を選定した。これら2つの海岸は、いずれも砂浜海岸であり、新潟南西部海岸では図-1に示すように、新潟西港以西では関屋分水および新川が流入しているが、それ以外の河川は存在しない。また、この海岸には新川漁港および巻漁港に二つの漁港があり、角田浜の南西端は、角田山の山麓が海岸にまで迫っており、そこから岩石海岸が数 km 続いている。

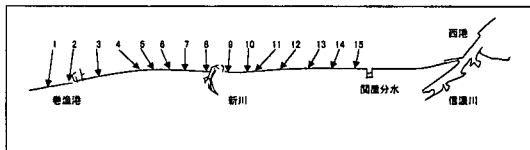


図-1 新潟南西部海岸の調査地点

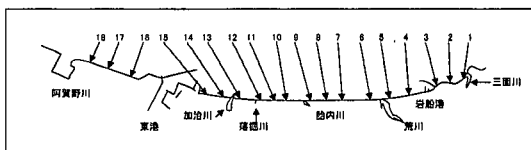


図-2 新潟北東部海岸の調査地点

一方新潟北東部海岸では、図-2に示すように三面川、荒川、胎内川、落堀川、加治川および阿賀野川の6河川が流入している。これらの河川の内、阿賀野川は流域面積 7,710 km²、流路延長 210 km であるが、年間水量は 146 億 km³で信濃川の 159 億 km³について全国第2位と大きい。その他の河川の規模は、荒川(流域面積: 1,151 km²、流路延長: 73 km)、三面川(流域面積: 664 km²、流路延長: 50 km)、加治川(流域面積: 346 km²、流路延長: 5.0 km)、胎内川(流域面積: 138 km²、流路延長: 42 km)であり、信濃川や阿賀野川の規模に比して1オーダーあるいはそれ以上小さい規模の河川である。この海岸は、近年海岸侵食が次第に激しくなり、各種護岸や離岸堤および突堤などの海岸侵食対策構造物が設置されている(泉宮・砂子, 1994)。

2.2 調査方法

調査対象海岸において約 2 km 毎に調査地点を定め、新潟南西部海岸では 2000 年 8 月に 15 地点、および北東部海岸では同年 10 月に 18 地点で前浜頂部の砂を採取した。図-1 および図-2 には、採取した地点の位置と番号が示されている。また、河口部の砂と比較するために、信濃川、新川、阿賀野川、加治川、落堀川、胎内川、荒川および三面川の河口部で別途砂を採取した。なお、信濃川については新潟西港の沈埋トンネル建設時に海岸部に排砂されている砂を用いている。採取した砂を自然乾

* 正会員 工博 新潟大学教授 工学部建設学科
** 佐田建設(株)
*** 正会員 新潟大学技官 工学部建設学科

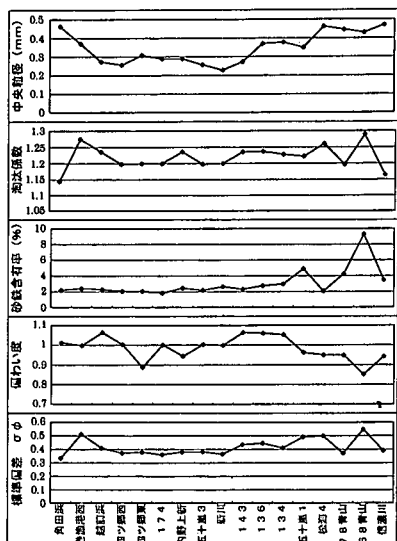


図-3 新潟南西部海岸の粒度特性

乾燥した状態でバットに一樣に敷き詰めて、分光光度計により波長が400 nmから1050 nmまでの間を25 nmから50 nm間隔に4回分光反射率を計測し、その平均値を分光反射率として用いた。また、砂鉄含有率の測定および粒度分析を行ない、中央粒径、淘汰係数、偏り度および標準偏差 σ_ϕ を算定した。

3. 粒度特性および砂鉄含有率

図-3は、新潟南西部海岸の海浜砂の粒度および砂鉄含有率の変化を示したものである。中央粒径は、信濃川から新川にかけて変動しながらも小さくなる傾向にあり、新川および四ツ郷屋西周辺で最小となっている。このような中央粒径の変化傾向は、この海岸の沿岸漂砂の卓越方向が南西向きである(宇多, 1997)ので、沿岸漂砂の流下方向に小さくなるという一般論にほぼ一致していると言える。しかしながら、南西端近くの巻漁港西および角田浜では中央粒径が有意に大きくなっており、傾向が異なっている。この相違は、巻漁港西で淘汰係数および標準偏差 σ_ϕ の値が大きくなっていること、また逆に角田浜ではそれらの値が小さくなっていることから、この2地点では外部から異質な砂の供給があった可能性があると推測される。事実、巻漁港西では近年海岸侵食が進み、砂丘地が侵食されて土砂が供給されており、また角田浜では過去に海水浴場に資浜したことが分かっている。

砂鉄含有率の変化を見てみると、青山海岸から四ツ郷屋にかけて変動しながらも減少しており、関屋分水左岸近くの青山では含有率が9%程度とかなり高く、信濃川が砂鉄の供給源であることが分かる。また、この砂鉄含有率の変化も中央粒径の変化と同様に、沿岸漂砂の卓越

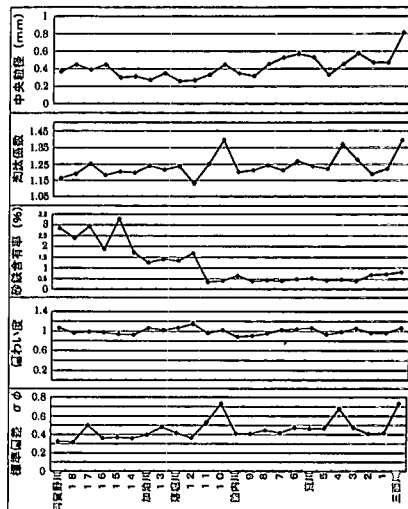


図-4 新潟北東部海岸の粒度特性

方向が南西向きであることを支持している。

図-4は、新潟北東部海岸の海浜砂の粒度および砂鉄含有率の変化を示したものである。中央粒径について見てみると、三面川から落堀川にかけて変動しながらも小さくなっており、このところからも沿岸漂砂の卓越方向が南西向きであることが推測される。ただし、淘汰係数や標準偏差については、南西向きに平均的には減少する傾向にあるように見えるが、礫等が含まれる海岸があるため、その変動幅の方が大きい。

一方、砂鉄含有率については阿賀野川から12番地点までは高く、北東側の11番から三面川にかけては1%以下と低くなっている。このことは、かつて信濃川および阿賀野川から流出した砂鉄が落堀川付近の12番地点にまで到達していたことを物語るものである。また、逆に新潟南西部海岸の砂鉄含有率の最小値が2%であるので、三面川、荒川および胎内川からの砂鉄流出総量は比較的小さいと言える。

4. クラスタ分析による分類評価と考察

4.1 光学的特性の分類評価

各海岸で採取した砂の17種類の波長帯の分光反射率のデータを用いて、海浜砂の光学的特性の分類評価を行った。分光反射率のデータをそのまま用いたのでは、値に余り差異がなく、うまく特徴を抽出できなかったため、各波長帯の分光反射率の平均値と標準偏差を用いて基準化して評価することにした。

$$X_{ij} = (x_{ij} - \mu_j) / \sigma_j \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 x_{ij} は*i*地点の*j*番目の波長帯の分光反射率、 μ_j は*j*番目の波長帯の分光反射率の平均値、 σ_j はその標準

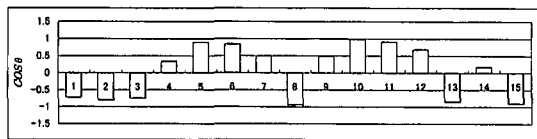


図-5 10 番地点のデータとの余弦角の分布

偏差, X_{ij} は基準化された分光反射率を表す。このような基準化を行なうことで、分光反射率の差異が明確となり、有効な分類評価を行なうことができる。

クラスター分析を行なう前に、基準化されたデータ X_{ij} を 17 次元のベクトルとみなし、2 地点のデータを用いて内積を求め、余弦角 $\cos \theta$ を計算して、簡易的な類似度指標を求めてみた。新潟南西部海岸の 10 番地点との類似度を示したのが、図-5 である。この図より、10 番地点とベクトルの方位が類似しているのは、9 番から 12 番および 4 番から 7 番までの地点の砂であることが分かる。

クラスター分析には、最近隣法、メディアン法、重心法および Ward 法などの分析法があるが、本研究では他の分類手法と比較してかなりよい分類結果が得られることが知られている Ward 法を用いた(柳井, 1995)。図-6 は、新潟南西部海岸の海浜砂の分光反射率を Ward 法でクラスター分析した結果のデンドログラムである。この図では、A, B, C と D, E の大きく 2 つのグループに分けられているが、これは丁度図-5 に示されている余弦角の値の正のグループと負グループにほぼ対応している。他の分析法である最近隣法、メディアン法および重心法についても計算を行なっているが、このような結果は得られず、改めて Ward 法の分類法の有効性が確認できている。

海浜砂の光学的特性は、図-6 に示されているように、番号が近い地点同志の距離が小さいが、地点番号 15 の青山の砂は特に性質が異なる結果となっている。この地点は、関屋分水に最も近い地点で離岸堤群の東端にあたり、最も砂鉄含有率が高かった地点である。

それぞれのグループの分光反射率の平均値を示したのが、図-7 である。この図からも分かるように、E グループの 15 番の青山の砂の分光反射率が最も低くなっており、これはやや黒っぽい砂鉄の含有率が高かったためであると考えられる。A グループの砂は、いずれの波長帯においても最も分光反射率が高く、この海岸では最も白っぽい砂であり、B グループの砂がこれに続いている。D グループの砂の特徴は、500 nm 以下の波長帯で分光反射率が小さく、700 nm 以上の波長帯では C グループと同様な特性を有している。

図-8 は、新潟南西部海岸の光学的特性による分類を図示したものである。光学的特性の近い A および B グループは、地点番号 5 番から 11 番まで連続して分布しているのに対して、特性の異なる D および E グループは、この海岸の両端近くに分布している。これらのグループは、図-3 に示す中央粒径がやや大きく、青色の反射率が小さいことから、シルトや粘土成分などの細粒分が流失していることが考えられる。

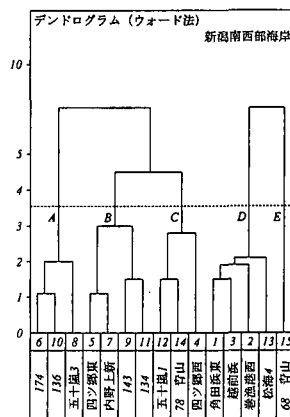


図-6 新潟南西部海岸の分類結果

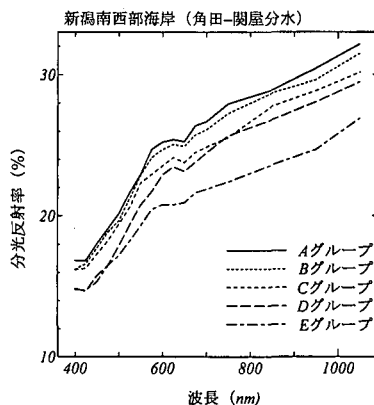


図-7 グループ毎の平均分光反射率の変化 (新潟南西部海岸)

グループは、地点番号 5 番から 11 番まで連続して分布しているのに対して、特性の異なる D および E グループは、この海岸の両端近くに分布している。これらのグループは、図-3 に示す中央粒径がやや大きく、青色の反射率が小さいことから、シルトや粘土成分などの細粒分が流失していることが考えられる。

新潟北東部海岸の海浜砂の分光反射率を Ward 法でクラスター分析した結果を、図-9 に示す。この海岸では、この図に示すように A から F の 6 グループに分類されている。これらのグループ毎の平均分光反射率の変化を示したのが、図-10 である。この海岸の砂の分光反射率は、新潟南西部海岸と比べてより大きく変化していること、および平均的に反射率が高いことが挙げられる。これは、この海岸では数多くの河川が流入し、数多くの砂礫が混入していることに拠るものと考えられる。また、D グループ以外の反射率が高いのは、砂鉄含有率が低いことや反射率の高い鉱物の含有比率の変化によるものと考えられる。A グループの光学的特性は、520 nm 以下の

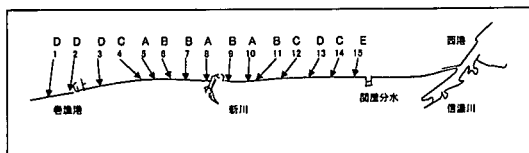


図-8 新潟南西部海岸の光学的特性による分類

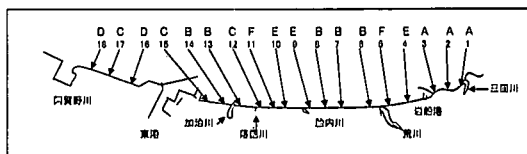


図-11 新潟北東部海岸の光学的特性による分類

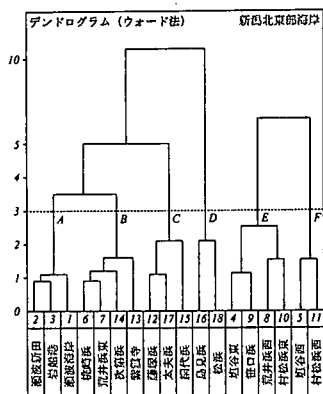


図-9 新潟北東部海岸の分類結果

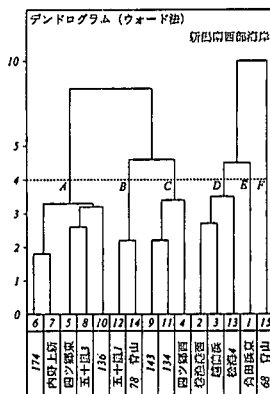


図-12 粒度特性を含めた分類結果 (新潟南西部海岸)

波長帯ではCグループの分光反射率とほぼ同じであり、550 nm 以上ではBグループの反射率とほぼ同じであることが分かる。

図-11は、新潟北東部海岸の光学的特性による分類を図示したものである。この図によると、三面川から岩船港の間(1番から3番)の海浜砂はAグループに属するのに対して、その隣の4番と5番の海浜砂は、性質のかなり異なるEおよびFグループに属している。このEおよびFグループの砂は、胎内川から落堀川までの海浜の砂の特性と同一であり、その砂を緊急養浜した可能性が高いと考えられる。また、阿賀野川に近い海浜の砂は、

DまたはCグループに属していることから、このグループの砂を阿賀野川系の砂とすると、最遠地で12番地点まで達していることになる。この結果は、砂鉄含有率から判断した11番地点とほぼ一致しており、河口テラスが発達し海岸侵食も地盤沈下もなく自然の状態にあった過去の海浜では、阿賀野川の砂が最大で11番から12番地点まで到達していたものと推測される。

4.2 粒度特性を含む分類評価

海浜砂の光学的特性である分光反射率だけでなく、中央粒径、淘汰係数、偏り度、標準偏差の粒度特性と砂鉄含有率を加えて、新潟南西部海岸の海浜砂をクラスター分析した結果を図-12および図-13に示している。ここでは、AからFの6つのグループに分けられている。地点1番の角田浜の砂は、光学的特性からは2番および3番地点の砂と同じグループに属していたが、粒度特性を取り入れると比較的近いが別のグループに属している。15番の青山の砂は、光学的にも粒度特性を取り入れても他の海浜砂と異なる特性を持っており、この砂が孤立状態にあることを示している。また、3番の越前浜と4番の四ツ郷屋西との間で砂の特性がDとCグループでやや異なることから、養浜等の人為的な影響が関与しているものと考えられる。

図-14および図-15は、新潟北東部海岸の粒度特性を含めた分類結果を示したものである。この海岸では、光学的特性と粒度特性の多様性から、図-14に示すようにAからHの8グループに分類される。まず、三面川か

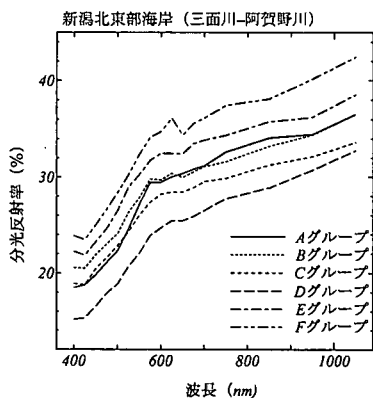


図-10 グループ毎の平均分光反射率の変化 (新潟北東部海岸)

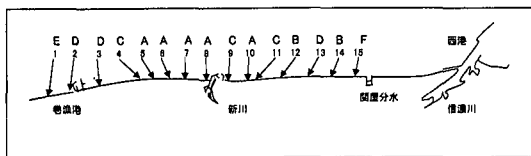


図-13 新潟南西部海岸の粒度特性を含めた分類

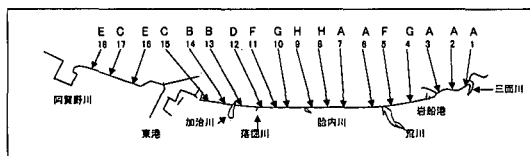


図-15 新潟北東部海岸の粒度特性を含めた分類

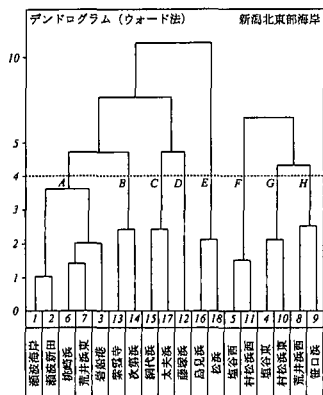


図-14 粒度特性を含めた分類結果（新潟北東部海岸）

ら岩船港までの砂は A グループで同一であり、4 番および 5 番でかなり性質の異なる G および F グループとなっており、光学的特性のみを考慮した場合と同じ結果となっている。しかしながら、6 番と 7 番では A グループの砂の性質を有しており、三面川から岩船港までの海浜砂と同類であることを示している。このことは、1 番から 3 番までの海浜砂が過去において 7 番当りまで到達していたことを意味するものであり、その時期に形成された砂丘地の侵食に関係するものと推測される。なお、4 番および 5 番地点の海浜砂は、粒度特性を考慮しても 10 番および 11 番の砂の特性と同じであるので、やはり胎内川から落堀川にかけての砂を養浜した可能性が高いと言える。

5. 結 論

本研究では、新潟南西部海岸および北東部海岸の海浜砂の分光反射率、粒度特性および砂鉄含有率を詳しく調べて、クラスター分析することにより以下の事柄が明らかとなった。

(1) 新潟南西部海岸では、比較的砂鉄含有率が高く、

四ツ郷屋あたりにかけて中央粒径および砂鉄含有率が徐々に小さくなる傾向にあり、沿岸漂砂の卓越方向は南西向きであることが確認された。また、砂鉄の供給源は沿岸漂砂の卓越方向から考えて信濃川であると推測された。

(2) 新潟北東部海岸では、三面川から藤塚浜にかけて中央粒径が変動しながらも小さくなっており、逆に信濃川・阿賀野川から流出した砂鉄は、阿賀野川から藤塚浜あたりまで達しており、自然状態に近く河口のデルタが発達していた時期には、藤塚浜あたりまで北東向きの沿岸漂砂があったと推測された。

(3) 海浜砂の光学的特性および粒度特性をクラスター分析した結果、角田浜の砂は光学的特性は周辺の砂とほぼ同じであるが、粒度特性が異なることから養浜されたものであると推測される。また、関屋分水近くの青山の砂は、最も暗かつ砂鉄含有率も最も高く、光学的にも孤立した性質を持っており、それより南西側へ殆ど寄与していないと考えられる。

(4) 新潟北東部海岸では、より多くの河川が流入していることもあり、海浜砂の粒度および光学的特性も変動が大きい。クラスター分析することにより、塩谷付近の砂は胎内川から落堀川にかけての海浜砂の特性とほぼ一致することから、その地域からの砂を養浜した可能性が高いことが分かった。

参 考 文 献

- 泉宮尊司・砂子 浩 (1994): 新潟県北東部海岸の広域的海岸侵食の総合的原因調査, 海岸工学論文集, 第 41 巻, pp. 531-535.
- 宇多高明 (1997): 日本の海岸侵食, 山海堂, pp. 121-130.
- 熊谷幸博・水村和正・館 崇暁 (1997): 地球化学元素を用いた砂移動方向調査法に関する研究, 海岸工学論文集, 第 44 巻, pp. 1266-1270.
- 柳井晴夫・高木広文編著 (1995): 多変量解析ハンドブック, 現代数学社, pp. 224-242.
- 李 在鉅・入江 功・小野信幸・村上啓介 (1999): 底質分析による広域の漂砂特性調査法について, 海岸工学論文集, 第 46 巻, pp. 656-660.