

平成 30 年 5 月 14 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K05319

研究課題名(和文) 楕円フーリエ・主成分分析による粒子形状の定量と古波浪強度解析の新指標

研究課題名(英文) Sand grain shape analysis by Elliptic Fourier-Principal Component Analysis:
proposal of an index to determine paleo-wave energy

研究代表者

太田 亨(Ohta, Tohru)

早稲田大学・教育・総合科学学術院・教授

研究者番号：40409610

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、20地点の前浜の砂を採取し、粒子形状指標と波浪営力・風成営力の関係を検証した。主成分分析の結果、第1主成分は波浪営力を検出し、伸張指標と高い相関を示し、太平洋側・日本海側の海岸で対照的な値を示した。したがって、この潜在変数は、うねりの多い大海洋では、粒子が円形になることを示している。第2主成分は風成営力を検出し、円摩度指標と高い相関を示し、砂丘の存在する地点で高い値を示した。したがって、この潜在変数は、浜堤平野の発達度合いを検知しており、そのような場所では粒子が円摩されていることを示している。この結果を応用すれば、粒子形状から海洋の規模と、砂丘の発達を判別することができる。

研究成果の概要(英文)：This study investigated the relationship of foreshore grain shapes and wave/wind power. Principal component analysis revealed that PC1 represents wave power and it showed a positive correlation with roundness index, and foreshores facing Pacific and Sea of Japan showed contrasting values. Therefore, this latent value indicates that grains tend to be rounded in large oceans that are frequently attacked by swells. PC2 represents wind power and showed positive correlation with smoothness index, and showed high values where aeolian dunes are developed. Therefore, this latent value illustrates the degree of development of strand plain and, that in such environment, grain surfaces tend to be smooth. Application of the present result enables to predict the size of the ocean and presence of aeolian dunes simply from the analysis of grain shapes.

研究分野：地質学

キーワード：粒子形状 前浜堆積物 フーリエ分析 主成分分析

1. 研究開始当初の背景

波浪強度は沿岸域の堆積地形や生態系に大きな影響を及ぼす重要な因子である。それゆえに、地質記録から過去の波浪強度を推定する試みは多くなされており、主に大型化石、生痕化石、ハンモック状斜交葉理の波高を利用して波浪強度が復元されてきた(例えば、Ito et al., 2001; Campbell et al., 2006)。しかし、これらの方法では、相対的な波浪の強弱しか議論できず、地質記録中から具体的な波浪強度の物性値を割り出すことはできなかった。一方、近年では、フーリエ解析を用いて砂粒子の形状を記述する試みがなされるようになり、フーリエ記述子と流体営力には相関があることが示された(例えば、Schwarcz and Shane, 1969; 鈴木ほか, 2013)。この進展により、例えば、前浜堆積物の砂粒子の形状から波浪強度の推定が可能となるのではないかと期待される。そこで本研では、現世前浜堆積物の石英砂形状をフーリエ解析によって定量し、粒子形状データから波浪強度を算出する 関係式を提案し、かつ、過去の波浪営力強度の推定が可能となる指標の開発を目指す。

ただし、フーリエ展開で天然の粒子形状を正弦波の組み合わせで表現すると、通常、400程度の変数が必要となる。この膨大な変数を数変数に集約して、解釈可能な指標値を得る必要がある。本研究では、この課題を、楕円フーリエ 主成分分析を適用することで克服する (Suzuki et al., 2015)。

2. 研究の目的

フーリエ解析による砂粒子形状評価の問題点は、膨大な数のフーリエ記述子が得られ、その扱いと堆積学的意義の特定が困難な点にあった。例えば、砂粒子 1 個を楕円フーリエ解析した場合、その解像度保持のためには400個のフーリエ記述子が必要となり、この膨大な変数の集約が課題になってきた。そこで、申請者は近年、石英粒子のフーリエ解析結果 に多変量統計解析を施すことによって、石英粒子の「全体的な形状(REF 1)」と「摩耗度(SEF)」を数値化する指標を開発した (Suzuki et al., 2015) 。そして、この指標から砂漠、氷河、河川、前浜などの堆積環境を判別できることを示した。しかしながら、前浜堆積物は採取地点によって指標値の変動が特に大きく、堆積環境判別の際に問題となることも明らかになった。この事実、逆に考えると、地域間における前浜環境の波浪強度・地形特性が検出されているのだと捉えることができる。したがって、この手法を駆使することによって、逆に、波浪 強度の差異を評価することができるのではないかとこの作業仮説の着想に至った。

上記作業仮説の検証のために、沿岸波浪計と風速計が設置されている地点の前浜堆積物を採取し、上記の形状指標値から、波浪物性

値や風成物性値を復元する換算式を開発する。

3. 研究の方法

本研究では、本邦の 20 地点の前浜から砂試料を採取した。各サンプルより 30 個の石英粒子を無作為抽出して、実体顕微鏡写真より粒子輪郭の 2 値化画像を得た。それぞれの画像を楕円フーリエ主成分分析を施して、粒子形状指標である、REF1 と SEF 指標値を算出した。REF1 は、低い値で粒子が棒状、高い値で粒子が円形であることを示している。SEF は高い値の粒子ほど、表面の円摩度が高いことを示している。算出方法は Suzuki et al. (2015)を踏襲した。同時に、各地点のフェッチ (海岸開放度)・波浪営力・風成営力のデータを、全国港湾海洋波浪情報などを元に収集した。

4. 研究成果

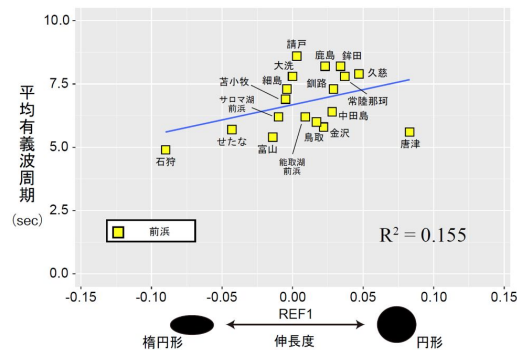


図 1. REF1 と有義波高の比較。波浪と全体的な形状には関係性があるが、その相関は弱い。

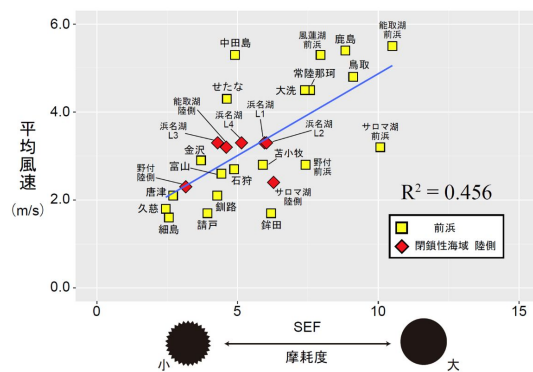


図 2. SEF と風速の比較。風速と粒子の摩耗度には関係性が存在する。

今回の解析結果は、波浪営力と砂の形状には弱い相関しか検知されないということが明らかになった (図 1 ; 相関係数 0.432) 。特に、粒子摩耗度 (SEF) と有義波高は無相関であった。そこで、前浜堆積物の形状には、海水営力のみならず、大気営力による影響も被っていると考えて、論理展開の軌道修正を図った。すなわち、波浪営力と風成営力を、粒子形状決定の説明変数として設定した。そ

の結果、平均風速と SEF には相関があることが判明し(図 2 ; 相関係数 0.677) 風成営力は、特に粒子の摩耗度の決定要因であることが分かった。

この結果、粒子の伸張度指標は有義波高と相関があり、円摩度指標は平均風速・フェッチと相関があることが分かった。すなわち、粒子の巨視的な形状は波浪営力によって、微視的な表面構造は風成営力によって決定されていたことがわかった。

この成果を踏まえて、形状指標(REF1・SEF)とフェッチ(地形)・平均風速・平均有義波高・うねりの出現率の主成分分析をおこなった。

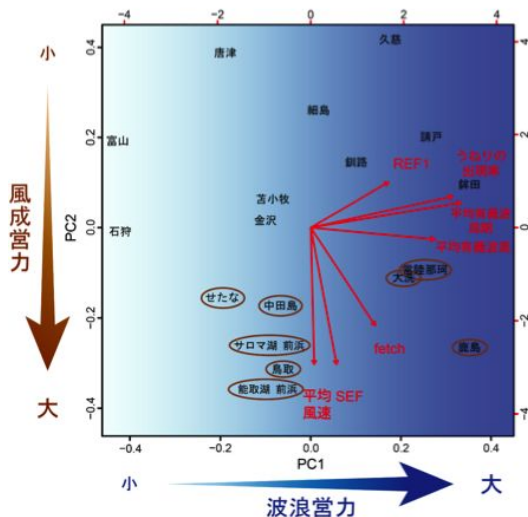


図 3 . 主成分分析結果のバイプロット。第 1 主成分は波浪営力を示し、REF1 と太平洋側海岸で高い値を示す。第 2 主成分は風成営力を示し、SEF と浜堤平野が発達した海岸で高い値を示す。

第 1 主成分は波浪営力を検出し、伸張指標と高い相関を示した(図 3)。うねりの多い海岸では粒子の全体的形状(REF1)は円形に近づくが、円摩度(SEF)は波浪によって変化しないことが分かった。第 1 主成分はまた、太平洋側の海岸と日本海側の海岸では対照的なスコアを出した。図 3 で PC 1 得点が 0.0 以上のものがすべて太平洋沿岸であることが分かる(例えば、鹿島、請戸、久慈)。逆に、負の得点を示しているのは、すべて日本海側の海岸である(例えば、唐津、金沢、富山、石狩)。したがって、この潜在変数は、太平洋のような大海洋ではうねりが多く、そのような海洋に面した海岸では、砂粒子が円形になることを示している。

第 2 主成分は、風成営力を検出し、円摩度指標と高い相関を示した。風力の強い海岸では粒子の全体的形状(REF1)は変化しないが、円摩度(SEF)は風力によって高くなることが分かった。また、第 2 主成分は、浜堤平野が発達している海岸でのみ高い負の値を示した。例えば、常陸那珂、大洗、鹿島、せたな、中田島、サロマ湖前浜、鳥取、能取湖前浜では、浜堤平野ないしは砂丘が形成されて

おり、すべて図 3 では、 $PC2 < 0.0$ の領域にプロットされている。したがって、この潜在変数は、砂丘の発達度合いを検知しており、砂丘が発達している場所では粒子が円摩されていることを示している。

上記結果を要約すると、(1) 前浜の砂は大海洋に面しているほど円形になり、この関係は REF1 指標値で評価できる、(2) 砂丘が発達しているほど円摩されており、この関係は SEF 値で評価できる。

今回の主成分分析結果を応用すれば、対象海岸が大きな海洋に面しているのか否かと、砂丘の発達の有無を判別することができることが期待される。今後は、未知試料に対しても適応できるのかを検証する必要があり、この方法によって真に、粒子形状から海岸地形特性を推察できるのかを吟味する必要がある。

引用文献 :

Campbell et al., 2006, *Sedimentology*, 53, 945-969.
 Ito et al., 2001, *Geology*, 29, 87-89.
 Schwarcz and Shane, 1969, *Sedimentology*, 13, 213-231.
 Suzuki et al., 2015, *Sedimentology*, 62, 1184-1197.
 鈴木ほか, 2013, *地質学雑誌*, 119, 205-216.

5 . 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 0 件)

[学会発表] (計 3 件)

橋本朋子・太田 亨, 2015, 楯円フーリエ - 主成分分析法を用いた碎屑物粒子形状の定量化 および堆積場判別手法の検証 . 日本地質学会 122 年学術大会

Seki S., Hashimoto T. and Ohta T., 2016, The evaluation of sand grain shapes using elliptic Fourier and principal component analyses: Discrimination of modern sedimentary environments and application to the geological records. 35th International Geological Congress

関 笙・橋本朋子・太田 亨, 2017, 楯円フーリエ-主成分分析法を用いた前浜堆積物の粒子形状評価と波浪・地形との関係性 . 日本地質学会第 124 年学術大会 .

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

出願状況 (計 0 件)

名称 :
 発明者 :

権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況（計 0 件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等
なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

太田 亨 (OHTA Tohru)
早稲田大学・教育・総合科学学術院・教授
研究者番号：40409610

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

橋本朋子 (HASHIMOTO Tomoko)
関 笙 (SEKI Sho)