

第II部門 底質画像による砂浜の代表粒径の推定

大阪市立大学 工学部 学生会員 三宅 一成
 大阪市立大学大学院 工学研究科 正会員 中條 壮大

1. 研究背景・目的

砂浜海岸は生態系基盤の形成をはじめとした様々な機能を果たしているが、近年浸食が進行しその機能が失われつつある¹⁾。砂浜の生態系や断面形状には底質粒径が関与している²⁾³⁾が、粒径は経年変化を伴う上に、測定には通常はふるいをういた分析が必要である。さらに、延長が1km以上の砂浜海岸だけでも全国には800以上もあり、砂浜海岸での定期的な粒径モニタリングは行われていないのが現状である。このため、例えば温暖化による海面上昇の影響を踏まえて砂浜環境の整備計画を立てることも、砂浜海岸の消失量が推定できないため困難な状況にある。

近年、簡便に底質粒径を計測するために、底質のデジタル写真の画像解析から粒径情報を得る研究がなされている⁴⁾。しかし、これは撮影に慣れた研究者が同じ条件で撮影したときの解析結果であり、一般市民がスマートフォンなどで撮影する場合の適切な撮影方法やその際の精度については保証されていない。また、砂浜海岸毎に淘汰度などの底質特性は変化するが、その変化がもたらす影響も十分に検討されてはいない。スマートフォンのカメラは約1200万画素と高性能であり、広く普及している。また、アプリを通じてデータ転送が可能である。砂浜海岸に訪れた一般市民が撮影した底質画像を収集することで、継続的なモニタリングができれば、汎用的な砂浜粒径データベースが構築できるのではないかと考えている。

そこで本研究では、スマートフォンによる撮影画像を用いて砂浜海岸の底質の粒径算出を行い、撮影条件や底質特性が粒径推定に及ぼす影響を評価する。

2. 粒径算出手法

粒径の推定に際しては、撮影画像の輝度に関する空間的自己相関(AC)係数 a_k から推定を行った。用いた算定式を式(1)に示す。

$$a_k = \frac{\sum_i (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_i (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\sum_i (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

ここで、 k :平行移動距離、 x_i, y_i :矩形領域内の各座標の輝度値、 \bar{x}, \bar{y} :矩形領域内の平均輝度値である。同じ砂粒子であれば輝度値はほぼ同じ値となるので、検

査領域の平行移動距離が粒径程度離れるとAC係数は大きく減少する。またその減少曲線は粒径と1対1に対応する。実際の砂粒子は単一径で構成されているわけではないので、その構成比を考える必要がある。ここでは、AC係数を線形和で表現されると考えて、式(2)の方程式を解くことで各粒径の存在比を求める。

$$\begin{aligned} a_{1,1}x_1 + a_{1,2}x_2 + \dots + a_{1,j}x_j &= b_1 \\ a_{2,1}x_1 + a_{2,2}x_2 + \dots + a_{2,j}x_j &= b_2 \\ \dots\dots\dots & \\ a_{k,1}x_1 + a_{k,2}x_2 + \dots + a_{k,j}x_j &= b_k \end{aligned} \quad (2)$$

$a_{k,j}$:粒径が既知の単一粒径(区分 j)で構成された底質画像から得られるAC係数、 b_k :現地海岸の底質画像から得られるAC係数、 x_j :非負制約を有する線形最小二乗法より算出される、区分 j の粒径の含有率。

ここで、 $a_{k,j}$ の決定において辻本ら⁵⁾はふるい分析より得られた底質画像を用いたが、実際の底質画像に基づいて求めた場合は粒径区分はふるい目に依存し、任意に設定できない。また粒径に幅があり、粒径に応じた正確な $a_{k,j}$ は求められない。そこで、直径が一定の円が重なり合う人工画像(基準画像)をもとに $a_{k,j}$ を算定し、 k を粒径で正規化した表現とすることで、任意の粒径に対して適用可能な $a_{k,j}$ を算定した。正規化された $a_{k,j}$ を用いて粒径を推定する際の平行移動距離 k_n と粒径 d_n の関係は以下の式(3)で定義される。

$$k_n = \left(\frac{k_c}{R_c l_c} \right) / \left(\frac{x_n}{d_n} \right) \quad (3)$$

ここで、 k_c :基準画像における平行移動距離、 R_c :基準画像長 l_c に対する円の直径の比、 x_n :撮影画像の解像度(mm/pixel)である。

3. 条件に応じた精度検証

本研究では、愛媛県、和歌山県、三重県の20地点の砂浜海岸での現地調査から底質特性が多様なサンプルを採取した。ふるい分析より得られた中央粒径 D_{50} を真値とし、底質画像解析より得られた中央粒径 D'_{50} との相対誤差を算出することで、検証を行った。ただし、 D_{50} は重量比であるが、 D'_{50} は数量比であり、その定義は異なる。また、 D'_{50} は同一条件で3回撮影した各結果から算定した平均値を評価した。

(1) 撮影条件の影響

まず、撮影距離を変化させることで解像度を変化させ、相対誤差に解像度が及ぼす影響を調べた。ただし解析範囲は同一とした。この結果を図-1に示す。これより解像度が0.029mm/pixelより小さい時に相対誤差は約20%となることが示された。解像度が大きい時には、小さな砂粒子情報が取得できていないことが顕著になったことで、精度が低下したと考えられる。

次に、解像度を一定にした際の解析範囲の影響について調べた。解像度が0.029mm/pixelの画像について、図-2より解析範囲と相対誤差には負の相関が確認された。これは、画像に映る砂粒子の数が増加したことにより、粒径加積曲線の再現性が向上したことによるものと考えられる。

図-3には D_{50} と本研究で求めた最適条件で推定した D'_{50} の比較結果を示す。サンプルによってばらつきはあるが、平均的にはやや D'_{50} の方が小さめに算定される傾向がある。相対誤差は辻本ら⁵⁾の最大相対誤差であった31% (破線) よりも小さく、平均すると約17%となった。これより、スマートフォンの撮影画像からも既往研究と同等以上の精度で、粒径情報の取得が可能であることが示されたと考えている。

(2) 底質特性の影響

底質特性の推定精度への影響として、底質の淘汰度に着目した。淘汰係数 S_o は式(4)で算出できる。

$$S_o = \sqrt{D_{75}/D_{25}} \quad (4)$$

ここで、 D_{25} 、 D_{75} はそれぞれ通過百分率が25%、75%の時の粒径である。本研究で求められた最適条件での結果を図-4に示す。相関係数 r は0.18となり、 D_{50} の相対誤差との間に相関は見られなかった。また、今回得られた底質は全て淘汰係数は1に近く、淘汰がよいとみなされる。これは、砂浜海岸では常に波が打ち寄せられることで、分級が発生していることが原因であり、砂浜海岸での一般的な特性であると考えられる。

4. 結論

本研究では、解像度が十分に確保されていれば、解析範囲が大きいほど相対誤差は小さくなることが分かり、相対誤差の平均値は約17%となった。ここから、複数地点の画像を取得することで、さらに精度向上を図ることが推測される。また、底質の淘汰度は今回の検討範囲の中では精度に及ぼす影響が小さいことが明らかとなった。

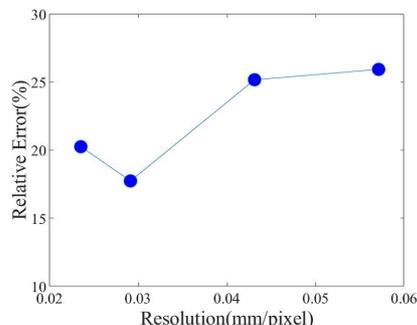


図-1 同一範囲解析時の解像度毎の相対誤差

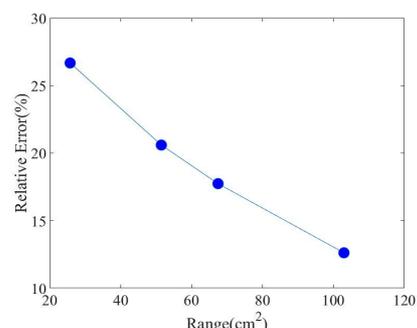


図-2 解析範囲と相対誤差の関係

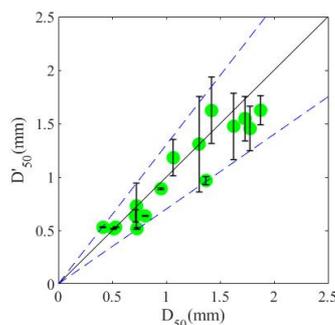


図-3 D_{50} と D'_{50} の比較

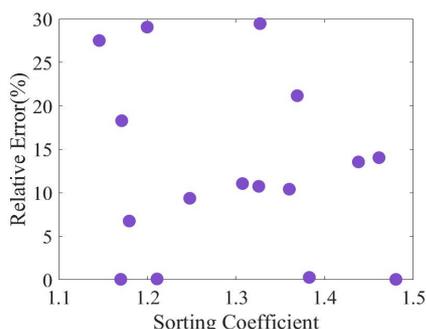


図-4 淘汰度と相対誤差の関係

参考文献

- 1) 田中茂信・小荒井衛・深沢満 (2013) : 地形の比較による全国の海岸線変化, 海岸工学論文, Vol.40, pp.416-420.
- 2) 加藤 史訓・佐藤 慎司・三輪 竜一 (1999), 海岸域の底生生物とその生息環境に関する全国的調査, 海岸工学論文集, Vol.46, pp.1136-1140.
- 3) Dean, R. G. (1991) : Equilibrium Beach Profiles: Characteristics and Applications, Journal of Coastal Research, Vol.7, pp.53-84.
- 4) DAVID M RUBIN (2003) : A SIMPLE AUTOCORRELATION ALGORITHM FOR DETERMINING GRAIN SIZE FROM DIGITAL IMAGES OF SEDIMENT, JOURNAL OF SEDIMENTARY RESEARCH, Vol.68, No.2, pp.160-165.
- 5) 辻本剛三・山田文彦・柿木哲哉 (2008), 砂浜画像を用いた底質粒径の計測法の妥当性に関する研究, 海洋開発論文集, Vol.24, pp.1207-1212.