

10 遠州灘海岸で見られる風紋の形態と成因

1 研究の動機と目的

2005年の夏、研究テーマを探して、野外調査を行っていた時、浜松市の中田島砂丘で風によってできた砂の紋様(写真1参照)を見た。これがいわゆる「風紋」と呼ばれるものであることは分かったが、意識して観察したのは初めてだった。砂の粒子が動いていき、新しい風紋が次々にできていく様子をみて、風紋の成因、形態について興味が集まった。

この風紋を詳しく観察していると、大きさが異なるものの、形に何らかの規則性があるように思われた。また、風紋をつくるのに必要不可欠な風との関係にも規則性があるのではないかと考えた。

そこで、まず野外調査を中心にして風紋の形態を詳しく調べ、これをもとに風紋形成の成因を追究していくことにした。

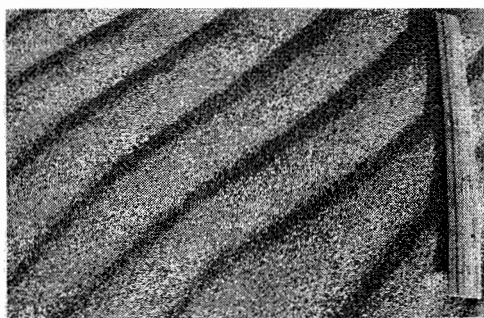


写真1 中田島海岸で見られる風紋

2 風紋の分類

まず、初めに風紋にはどのような形があるのか、また、その形はどのような特徴があるのかを調べることにした。

方法は、野外調査により、砂丘や海岸で風紋を探す。次に、風紋の詳細な観察と記載、デジタルカメラによる写真撮影を行う。そして、風紋の配列の方向性や形の特徴を基準に風紋を分類する。

この結果、風紋は並行型、枝分かれ型、湾曲型、散在型の4タイプに分類できることが分かった。以下にそれぞれの特徴について述べる。

(1) 並行型は、風紋の幅の間隔がほぼ一定で、平行に長く連なっているものである。幅の間隔は様々で、約4～12cmである。砂丘や海外の様々な箇所でも多く見られるタイプである。

(2) 枝分かれ型は、途中で枝分かれしている部分がある風紋である。風紋の峰が連続することや幅がほぼ一定で、その幅も4～12cmであることは、平行型と同じであるが、枝分かれしている点異なるので、平行型とは別のタイプとして分類した。このタイプはどの海岸や砂丘にもみられ、平行型に次いで多く見られる。

(3) 湾曲型は、風紋の峰が連なっているものの、その峰が湾曲しているものである。これは比較的砂の粗いものに多くみられ、幅は大きく不揃いのものが多い。平行型や枝分かれ型に比べて、見られる箇所が少なく、その範囲も狭い。

(4) 散在型は風紋と風紋との間が離れて、ブツブツととぎれ、散在しているものである。これは砂が粗いことが特徴である。また、分布は限られた狭い範囲でしか見ることができなかった。この原因は不明である。

3 風紋の断面の形

風紋の幅を測っていると、どの平行型の風紋の形も山なりになっており、似ているように思われた。そこで、風紋をスコップで掘ったところ、写真1のような断面がみられた。よく観察してみると、写真2の黒い線で示したとおり、扁平な三角形であることが分かる。そこで、風紋の断面の形を扁平な三角形と仮定し、風紋の幅や斜面の長さを測定することによって、風紋の正確な形を調べた。

ここで、風紋の形を図1のように次の7つの要素で表現した。風紋の幅をa、風上側の斜面をb、風下側の斜面をc、高さをh、峰の角度をA、風上側の角度をB、風下側の角度をCとした。

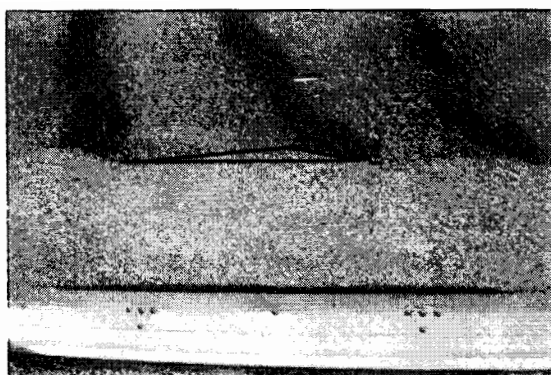


写真2 風紋の断面の写真(左側が風上側)

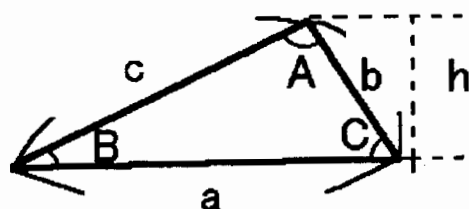


図1 風紋の形の要素

測定は、2005年7月22日に浜岡砂丘と相良海岸で行った。方法は風紋の幅 a 、斜面 b 、 c 、高さ h を定規を使用して、10分の1mmまで測る。次に a 、 b 、 c 、 h の値と下記の余弦定理の公式を利用して、角度 A 、 B 、 C を求めた。

$$\text{余弦定理 } a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cdot \cos A$$

$$b^2 = c^2 + a^2 - 2ca \cdot \cos B$$

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cdot \cos C$$

この結果、2地点の角度の平均値を求めると角 A は 168.4° 、角 B は 3.1° 、角 C は 9.8° となった。また、2地点の角度 A 、 B 、 C と幅 a の関係を示したものが図2、3である。図2、3より幅 a が変化しても、角度 A 、 B 、 C の値は一定であることがわかる。さらに風紋の幅 a 、斜面 b 、 c の比の値を求めたところ、 a を1としたとき、浜岡砂丘では、斜面 b は0.25、斜面 c は0.75、一方、相良海岸では、斜面 b は0.28、斜面 c は0.72とほぼ同じ値を示した。以上から場所が異なっても風紋の形は相似であることがわかる。また、斜面 b は斜面 c よりも短く、角 C が角 B よりも大きいことから、斜面 b は短くて急であり、斜面 c は長くて緩やかである。よって、風紋は風上側の斜面が緩やかで、風下側の斜面が急な扁平な三角形であることが、幾何学的に証明できた。

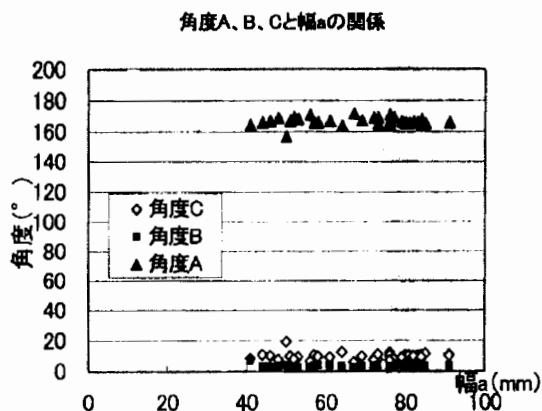


図2 浜岡砂丘の角度 A 、 B 、 C と幅 a の関係

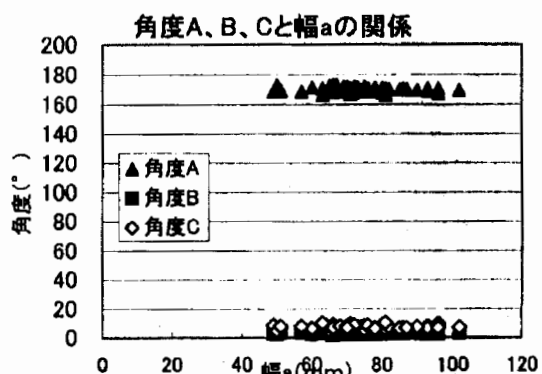


図3 相良海岸の角度 A 、 B 、 C と幅 a の関係

4 斜面の粒子の特徴

風紋の幅や斜面の長さを測定するうちに、風紋を上から見ると斜面には写真3のように白と黒のパターンが繰り返されており、これが風紋の縞を作っていることが分かった。これをよく観察してみると、この白黒パターンは光の影によってできているものではなく、砂の色に問題があることが分かった。また、写真4は丸で示した部分を拡大したもので、これを見ると、風紋には、粗い砂からなる部分と細かい砂からなる部分があることが分かる。

そこで私達は『風紋は砂の粗さや種類の違いによってできる。』という仮説を立て、検証してみることにした。

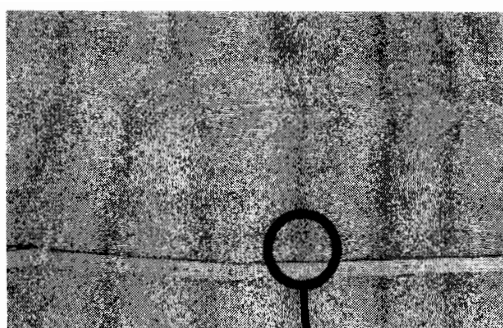


写真3 真上から見た風紋

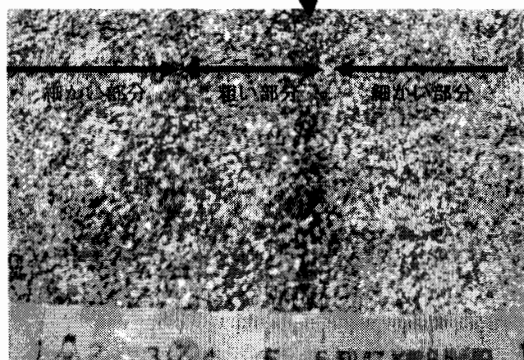


写真4 真上から見た風紋(拡大写真)

この仮説を検証するために、双眼実体顕微鏡を用いて砂の鉱物組成を風上側と風下側の斜面の砂に分けて調べた。

その結果、図4のとおり風上側の斜面の砂には、石英、長石、白色岩片のような白色の鉱物が多く含まれている。一方、図5のとおり風下側の斜面の砂には、黒色岩片が多く含まれていることが分かった。ところで、浜松北高校(1984)では、風下側の斜面には色から推定して有色鉱物が多いという指摘があったが、今回の鉱物分析の結果、黒雲母が僅かに含まれているだけで、角閃石、輝石、カンラン石などの有色鉱物は全く含まれておらず、かわりに黒色岩片がぎわめて多いことがわかった。

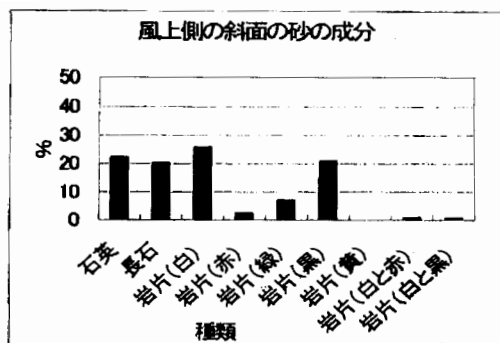


図4 風上側の斜面でみられる砂の成分

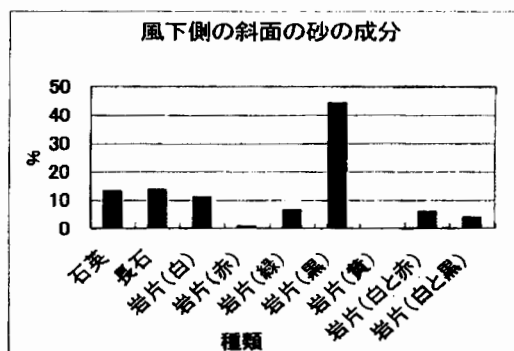


図5 風下側の斜面の砂の成分

次に、風上側と風下側の斜面の砂の粒度を比べた。方法は、篩によって砂を粒径の大きき別に分け、電子天秤を用いて質量を求めた。

その結果、図6のとおり、風上側の斜面には、0.3~0.6mmの比較的粒径の小さい細かい砂が多く、風下側の斜面には0.6~1.18mmの粒径の大きい、粗い砂が多く含まれている事が分かる。

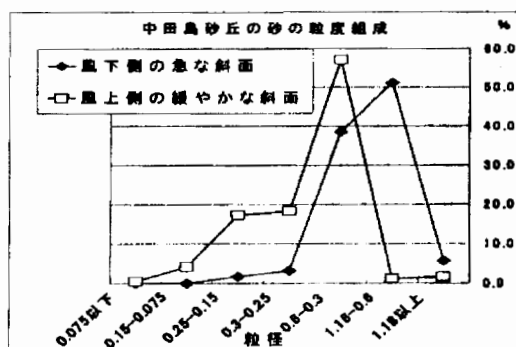


図6 中田島砂丘の砂の粒度組成

最後に比重瓶を用いて、比重測定を行った。乾燥した比重瓶の質量をMO、砂を入れたときの比

重瓶の質量をM1、砂と水を入れたときの比重瓶の質量をM2、水だけを入れた比重瓶の質量をM3とすると、比重は次式で示される。

砂の比重＝砂の質量／体積

$$= (M1 - M0) / (M2 + M0 - M4 + M1)$$

その結果、風上側の砂の比重は2.71、風下側の砂の比重は2.76となった。これより風下側の砂の比重の方が風下側の砂の比重よりも大きいことが分かった。

以上をまとめると風上側の斜面は、細かく比重の小さい白色の岩片や鉱物が多く含まれる砂、一方、風下側の斜面には粗くて、比重の大きい黒色岩片を多く含む砂からなることが分かった。よって、風紋は砂の粗さや種類の違いによってできることが確認でき、仮説が正しかったことが証明された。

5 砂の動きやすさの検討

これまでの結果を総合して、粗い砂と細かい砂の特徴をもとに、砂の動きやすさについて検討した。

まず、砂の形を単純な球と仮定した。また、砂は砂丘面とは1点で接し、摩擦は0とした。次に動きやすさを比較するために、砂が受ける風の単位断面積あたりの質量を求めた。この値が大きければその砂の質量は重いので動きにくく、逆にその値が小さければ質量は軽く、動きやすいことになる。この砂が受ける風の単位断面積あたりの平均質量とは、図7で示したように、砂粒子を球形と考えた時の全体の質量を、風の当たる球の断面積で割った商である。

そこで、

砂が受ける風の単位断面積あたりの平均質量
＝粒子の質量÷風のあたる断面積

ここで、粒子の質量が粒子の体積と比重の積であることから、

$$\rho = (\text{粒子の体積} \times \text{比重}) \div \text{風のあたる断面積}$$
となる。

これに、球の体積の公式 $V = 4/3 \pi r^3$ と円の面積の公式 $S = \pi r^2$ を代入すると

$$\rho = (4/3) \times \pi r^3 \times \text{比重} \div \pi r^2$$

となり、最後にまとめて

$$\rho = (4/3) \times r \times \text{比重}$$

の式を得た。

すなわち、砂が受ける風の単位断面積あたりの質量は、砂の比重と半径に比例している。この式

に実際の値を代入してみると

$$\text{風上側の砂} = 4/3 \times 0.37 \times 2.71 = 1.34$$

$$\text{風下側の砂} = 4/3 \times 0.37 \times 2.71 = 2.31$$

となった。したがって、半径rも比重も小さい、細かい白い砂は、風の単位断面積あたりの平均質量は軽く、動き易い。逆に半径rも比重も大きい粗い黒い砂は、風の単位断面積あたりの平均質量は重く、動きにくいことになる。

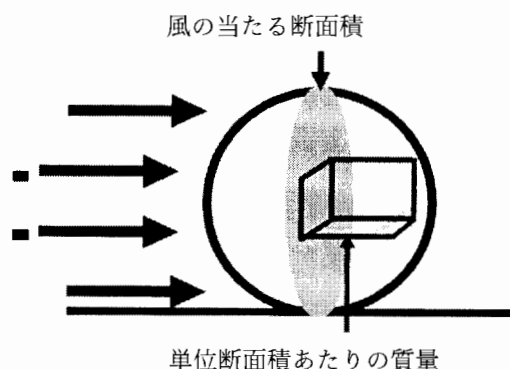


図7 砂の動きやすさの検討に用いた模式図

6 風紋形成のモデル

以上の結果をもとに風紋形成のモデルを2段階にまとめてみた。

第1段階：まず、動きやすい白い細かい砂が風によって飛ばされ、動かなかった黒い粗い砂にぶつかり、風上側に大量に堆積する。すると、図8のように風紋のもととなる砂の段差ができる。

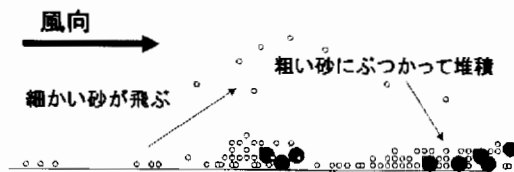


図8 風紋形成の第1段階のモデル

第2段階：風上側には、さらに大量の白い細かい砂が堆積するため、図9のように緩やかな斜面を形成する。このとき、転がった黒い粗い砂は風下側の斜面や風紋の間にある溝に落ちて堆積する。しかし、風下側の斜面には飛ばされた細かい砂がほとんど堆積しないため、砂の量は少なく、急な斜面を形成する。以上のことが繰り返されて、白と黒の模様の風紋は形成されると考えた。また、

風上側の斜面にある細かい砂は、何度も飛ばされ、粗い砂や、別の風紋の風上側の斜面にぶつかって堆積するため、風が吹く限り、新たな風紋を次々と作ると思われる。今後はこのモデルが正しいか検討を重ねていきたい。

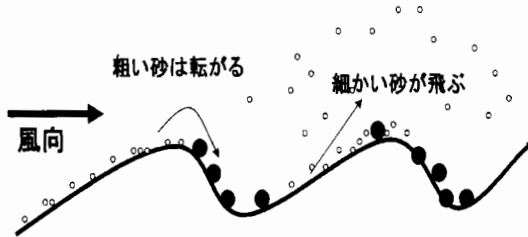


図9 風紋形成の第二段階のモデル

7 結論

- (1) 風紋は4種類の形に分類できる。
- (2) 風紋の断面の形を扁平な三角形と仮定して検討した結果、幅が変化しても角度は一定であり、風紋は相似である。
- (3) 風上側の斜面には石英、長石、白色岩片などの白色で比重の小さな細かい砂が多い、一方、風下側の斜面には黒色岩片などの黒くて比重の大きい粗い砂が多く、有色鉱物はきわめて少ない。
- (4) 砂の動きやすさは $4/3 \times \text{半径} \times \text{比重}$ の式で示され、これが大きいほど動きにくく、小さいほど動きやすい。

8 今後の課題

今後の課題は以下のとおりである。

- (1) 風紋の形成されているときの風速と風紋の幅の再計測を行う。
- (2) 平行型以外の風紋のでき方を調べる。
- (3) 風紋の上の砂の移動の様子を詳しく観察する。
- (4) 今回は夏期の風紋を調べたが、冬期の風紋とはどう違うのか検証する。
- (5) 遠州灘海岸以外の場所では風紋の特徴が異なるのか調べる。

9 参考文献

- 松倉公憲(1977)：風成砂床形の形態とその形成条件、地理学評論50412～419
 長谷川正(2005)：身近な自然・砂丘の調べ方、地

学教育と科学運動、地球科学59巻、213～218
 浜松北高校地学部(1984)：風紋に関する研究、生徒理科研究論文集昭和60年度版、71～76
 浜松北高校地学部(1985)：風紋に関する研究、生徒理科研究論文集昭和61年度版、52～56
 浜松北高校地学部(1987)：風紋に関する研究、生徒理科研究論文集昭和63年度版、109～114