

「玉砂舞楼（たまさぶろう）」をつくろう

いしはま さ え こ
石浜佐栄子（学芸員）

私は地層について研究をしているので、地層をつくる「砂つぶ」が、どんな条件でどんな動きをするのかということに興味があります。砂は私たちにとってごく身近でありふれたものですが、色々と条件を変えてその性質を調べていくと、なかなか面白い研究対象です。世の中には、砂が動く様子を見せる展示物やインテリアなどもあります。砂の性質を利用した何か楽しいおもちゃを作りたいと、常日頃から考えていました。

砂の性質 ～安息角～

平らな面に砂つぶを少しずつ、同じ場所にゆっくりと落としていくと、どうなるでしょう？きつと皆さんも子どもの頃、砂場などで体験したことがあるかと思いますが……山ができますよね。同じ一点にどれほどたくさんの砂を落としても、上方向だけに高く積み重なっていくわけではありません。必ず斜めに転がり落ちて斜面を持つ山ができ、山全体が大きくなりながら高さを増していきます。このとき、山の斜面がつくる角度（勾配）は一定で、山がどんな大きさであっても変わりません。つまり、小さな砂山でも、頑張って高くまで積み上げた大きな砂山でも、その形は同じ（相似形）ということになります。

山の斜面と水平面がなす角度のことを「安息角（摩擦角）」と呼んでいます（図1）。その角度より急だと、砂つぶが転がり落ちてしまう角度のことです。空気中で、乾いた砂の安息角は、およそ30度です。この角度は、実は山の斜面など、自然界の地形でも目にする多くの角度です。崖の下でたまった岩石片がつくる斜面（崖錐斜面）や、火山の火砕丘の斜面の角度などは、この安息角に相当します。

安息角は、つぶの形や、つぶの大きさの混ざり具合などによって変わります。丸い砂よりもゴツゴツした砂の方が、



図1 山の斜面と水平面がなす角度（安息角）。山が大きくても小さくても、その角度は変わらない。

安息角が大きくなり、急な斜面をつくれます。また、水の中で実験してみると、空気中とはまた違った角度になります。興味のある方は、いろいろ条件を変えて実際に角度を測ってみると、面白いですよ。

穴をあけて立体的な砂の絵を描く

今度は、紙の上に砂を敷きつめて、その紙に穴をあけることを考えてみましょう。穴をあけるとどうなりますか？……当然砂が落ちますが、その様子をよく見ると、砂は落ちるときも決まった角度の斜面をつくりながら落ちていくのが分かります。横から見るとV字形に、上から見ると、穴を中心とした円があらわれます（図2）。では、もうひとつ穴を増やしてみると、どうなるでしょう？どの穴にも同じ角度で砂が落ちていきますから、横から見るとW字形になりますね。上から見ると、2つの円がぶつかって、眼鏡のような形になります（図3）。ただし、砂の厚さに対して穴の位置が離れすぎていると、円がぶつからず、ただ2つの円があらわれるだけになります。

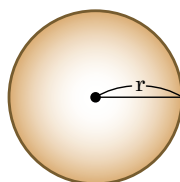
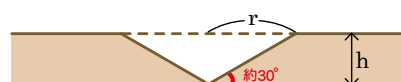


図2 砂を敷きつめた紙に穴を1ヶ所あけたときにできる形（上：横から見た図、下：上から見た図）。上から見たときにあらわれる円の半径 r は、安息角の角度と、敷きつめる砂の厚さ h によって決まる。

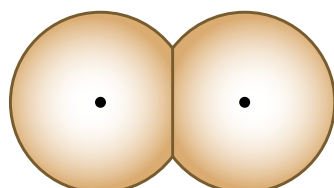


図3 砂を敷きつめた紙に穴を2ヶ所あけたときにできる形（上：横から見た図、下：上から見た図）。

3つ、4つと穴の数を増やしてみましょう（図4）。穴の数を増やすと、穴を中心とした同じ半径の円がいくつもできます。円同士がぶつかったところでは、その交点を結んだ線（穴同士を結んだ直線の垂直二等分線）が直線となって浮かび上がります。どの穴からも、同じ角度、同じ半径で砂が落ちるので、規則的なもようができます。穴をあける場所を工夫すると、円と線を使った立体的な砂のもようを描くことができるのです。

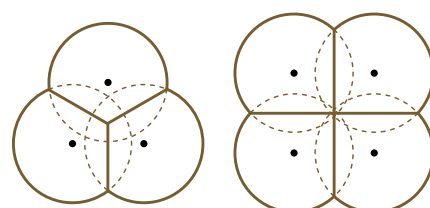


図4 正三角形・正方形の頂点に穴をあけたときにできるもよう（上から見た図）。円同士がぶつかったと、その交点を結んだ直線があらわれる。

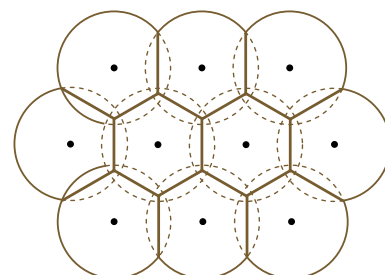
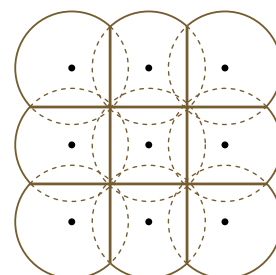


図5 穴の位置を少しずらすだけで、違うもようがあらわれる例。格子状に穴をあけると十字に交わる直線が、格子を半分ずつずらして穴をあけると六角形の集合体があられる。

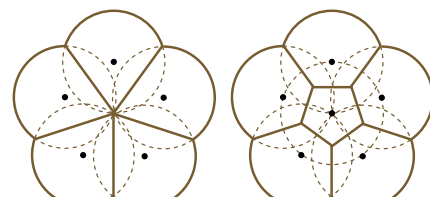


図6 穴を1ヶ所増やすだけで、違うもようがあらわれる例。中心に穴をあけると、他の穴との間の交線が正五角形をつくる。

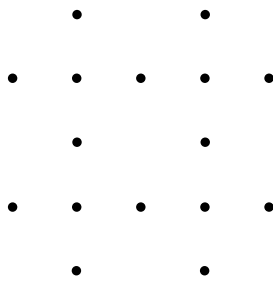


図7 問題：黒丸の位置に穴をあけると、どんなようがあらわれるか。

穴の位置を少し変えただけで、全く違うようがあらわれることもあります。格子状に穴をあけると、縦横に交わった十字の直線があらわれますが、格子を半分ずつずらして穴をあけてみると、ハチの巣のような六角形の集合体になります(図5)。また、5つの穴を正五角形の頂点の位置にあけると、ヒトデのような形になりますが、真ん中に1つ穴を増やすと、中心に五角形が浮き上がり、梅の花のような形に変わります(図6)。

では最後に、ちょっと難しい問題です。図7に示した位置に穴をあけると、どんなようがあらわれるのでしょうか？正解は……紙に千枚通しなどを使って穴をあけ、上から砂を落としてみると浮かび上がってきます。気になる方は、ぜひご自身で確かめてみてください。

おもちゃとして、持ち帰るためには？

色々頭をひねって、様々な立体的な砂のようがあらわれる穴の配置を考えました(図8)。紙と砂さえあればできる単純なおもちゃとして、なかなか面白そうです。そこで、当館で毎年3月に開催しているミュージズ・フェスタの際に体験コーナーとして実施できないかなと思ったのですが、一つ問題がありました。それは、遊ぶ場所が砂だらけになって汚れてしまうだろう、ということ。お土産として、穴のあいた紙と砂をセットにして持ち帰ってもらった場合、遊ぶ場所(おそらく家の中)が砂だらけになってしまうのは良くないのではという意見が上がった



図8 穴の配置を工夫して描いた、立体的な砂のよう。

のです。

できたものの形のまま、砂を固めてしまっただけ、という意見もありましたが、そうするとただの観賞用のオブジェになってしまいます。できれば何度も繰り返し遊んで欲しい、そう考えると、穴のあいた紙と砂を何かの中に閉じ込めておかなくてはなりません。少なくとも一部が透明になっていて中身が見えて、手頃な大きさで、安全で、しかも格安で大量に手に入るもの。お菓子の箱や調味料入れ、プラスチックの筒などなど色々考えた末、最終的に思いついたのが「トイカプセル」でした。おもちゃ屋さんなどの前に置いてある小型の販売機で、硬貨を入れてレバーを回すとおもちゃなどが入って出てくる、あのカプセルです。使用済のカプセルの中に、穴をあけた紙と砂とを閉じ込めれば、何度もひっくり返して遊ぶおもちゃになるのではないかと考えつきました。

カプセルの大きさは、それほど大きくありませんので、紙にあける穴の配置は、小さくても分かりやすいものとなるよう、工夫する必要がありました。またカプセルは丸いので、転がってしまうと「安息角」のきれいな斜面があらわれなくなってしまう。そこで、カプセルを置く台座も用意することにしました。そして最後まで悩んだのが、ネーミング。「砂玉子」「砂ノコール」「カプセル砂絵」「変砂球」……山ほど候補を挙げて頭を悩ませましたが、最終的に“玉の中で砂が舞ってできるけれど、すぐに崩れる砂上の楼閣”という意味を込め「玉砂舞楼」という名前をつけました。これで、穴をあけた紙と砂を使った簡単なおもちゃの完成です(図9)。

「玉砂舞楼」をつくろう

2009年3月に開催したミュージズ・フェスタでは、この「玉砂舞楼」を自分で作ってお土産にしまおう、という企画を実



図10 ミューズ・フェスタ2009のようす。

施しました。まず、穴をあける位置に印をつけた円い型紙を10種類あらかじめ用意し、自分の好きな型紙を選んで穴をあけてもらいます。穴をあける器具は、千枚通しや釘などでも良いのですが、今回は安全性を考えて、ねじ込み式の穴あけポンチを使用してみました。穴をあけた紙をカプセルにはめこみ、砂を入れ、カプセルを閉めれば完成です(図10)。砂は、どんな砂を使ってもできますが、なるべく穴に詰まりにくい方が良いでしょう。今回はつぶの大きさがそろった砂漠の砂を使用しました。各自作ってもらうということで、手間取ってしまうかなと多少心配もしていましたが、博物館ボランティアの皆さんによるお手伝いのもと、小さなお子さんでも問題なく作ってもらえたようです。カプセルは250個ほど準備していたのですが、大好評で、イベント時間の途中で早々に在庫がなくなってしまいました。

参加者の反応を見ていると、砂が動いて落ちていく、ただそれだけで楽しいという人も多かったように思います。「玉砂舞楼」づくりとは別に、穴をあけた紙箱と砂を置いて自由に遊ぶコーナーも設置していたのですが、予想とは違った形の不思議な砂のようができる、必ず同じ形を残して砂が落ちていくということを楽しんでもらえたようで、何度も何度も砂をかけて遊んでいる人も多く見かけました。身近な砂も、工夫次第で楽しく、その不思議さを感じてもらえるおもちゃに変身することを実感しました。

穴をあけて砂が落ちるという、原理自体はとても単純な「玉砂舞楼」ですが、砂の性質に興味を持ったり、自然の法則がもつ不思議な美しさを感じたりする、一つのきっかけになってくれれば良いなと思っています。

「玉砂舞楼」は、目代・有田(2008)「砂変幻作り(地質ニュース643号,p.24)」を参考に考案しました。なお本企画には科学研究費補助金(課題番号18700639)の一部を用いました。



図9 「玉砂舞楼」の完成！