

地質標本館における「地層の話」プログラム（後編） 三角州形成と海水準変動の再現実験に適切な“砂”の検討

辻野 匠¹⁾・森尻 理恵²⁾・佐藤 隆司²⁾・高橋 誠²⁾・下川 浩一²⁾・須藤 茂³⁾・利光 誠一⁴⁾

1. はじめに

前編(辻野ほか, 2020)では地質標本館で実施している「地層の話」プログラムにおける水路実験と附随する講義について報告しました。水路実験の普及を図る上で重要な要素に“砂”の調合・選定があります。「そこらへんの砂」でも水路実験はできますが、多くの児童に地層形成のダイナミクスをより実感してもらうためには、授業に適切な砂の選定が必要です(小山, 2006)。新型コロナウイルス(COVID-19)の感染症対策が求められる状況において、水路実験のような対面型の実習・実験の実施が中止され、技術が途絶える^{おそ}恐れが出てきています。ここでは、砂の粒径や形態、色調に関する特性評価を行い、次世代の砂として、あるいは別の博物館や学校が、水路実験を導入する際の手掛りとなる砂の条件について述べたいと思います。

これまでの運用から、“砂”に求める性質として4つの条件を満たすことが必要です。まずは、1) 粒度分布がバイモーダルであること、2) 細粒の方と粗粒の方で色が異なること、の2つがあげられます。条件1は第1図のように粒径の異なる2つの碎屑物を混合して調製します。条件2については多くの場合、細粒成分が石英砂であることから、多くは白色(正確には無彩色)になると考えられます。その際、さらに3) 濡れても白いままであること、が求められます。“砂”によっては濡れると明度が下がって(灰色っぽくなって)、地層がはっきりしなくなります。専門家には見えて当然のラミナでも慣れていない児童にははっきり見えないものです。小山(2006)や石原(2008)もそれぞれの授業用堆積実験装置の開発において、堆積物粒子の色を適切に選定しなければ児童にとって“縞”を認識することができないと指摘し、特に同系色になることを避けるようアドバイスしています。最後に、4) 海水準を下げた際に地すべりが起きにくいことが重要になります。実験で台地を形成できても地すべりが起きて崩壊してし

まっては、続く実験で新しい侵食河川、新しい河口、新しい三角州もなにもできませんから。

後段で詳細に砂の特性を述べますが、最初に目代邦康氏(2005年から2008年まで地質標本館在籍、現・東北学院大学)が水路実験をはじめた時に使用していた砂(第2図のA)はこの4条件を満たしており、使い勝手が良かったのですが、使っているうちに砂の散逸が進み量が減ってきました。関係者がいろいろな砂を探して試行錯誤したのですが、白っぽい砂はなかなかありませんでした。大人には白かろうと灰色であろうと本質ではないので一笑してしまいそうですが、児童の中には見かけの艶やかさに魅せられる場合もあるので軽視できません。試行錯誤の中で、研究戦略部国内連携グループの川邊禎久氏(現・活断層・火山研究部門)が熱帯魚用の砂(第2図のB)を導入し、これは濡れても白さを保つ性質があり、条件3については解決されました。これは想像ですが、熱帯魚など観賞用のため、砂の色調についても濡れても白い砂が選ばれていた可能性があります。

熱帯魚用の砂は濡れても白いのですが、残念ながら条件4、つまり、海水準を下げた時に、地すべりを引き起こしてしまい、実験の最後の部分(低海面期での河川の挙動)を実演することが困難な事態になったことがしばしばありました。そのため、地質標本館ではより適した砂を探す必要がありました。そこで珪砂とアルミナを導入し、かつ、それぞれの肉眼・顕微鏡観察、粒径分析、分光測色を実施し、それぞれの結果について報告し、適切な“砂”について議論したいと思います。

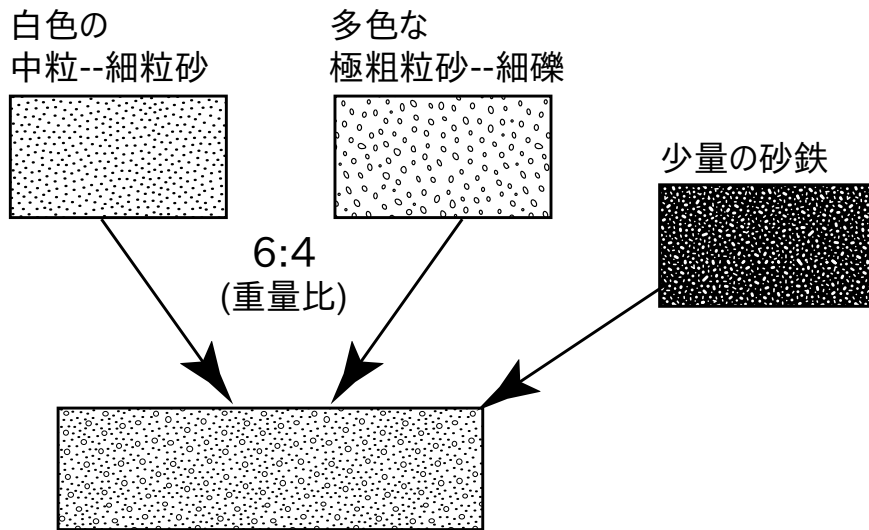
2. 使用する砂の特性

水路実験に使用している“砂”は、細粒成分(以下、砂)と粗粒成分(以下、細礫)の混合物(第1図)です。地質標本館で通常使用している砂は最初期に目代邦康氏が導入し

1) 産総研 地質調査総合センター 地質情報研究部門
2) 産総研 地質調査総合センター 地質情報基盤センター
3) 元職員
4) 産総研 地質調査総合センター 研究戦略部

キーワード：地質標本館、小学校校外学習、水路実験、デルタ、海水準変動

砂の調合



第1図 砂の構成と調合

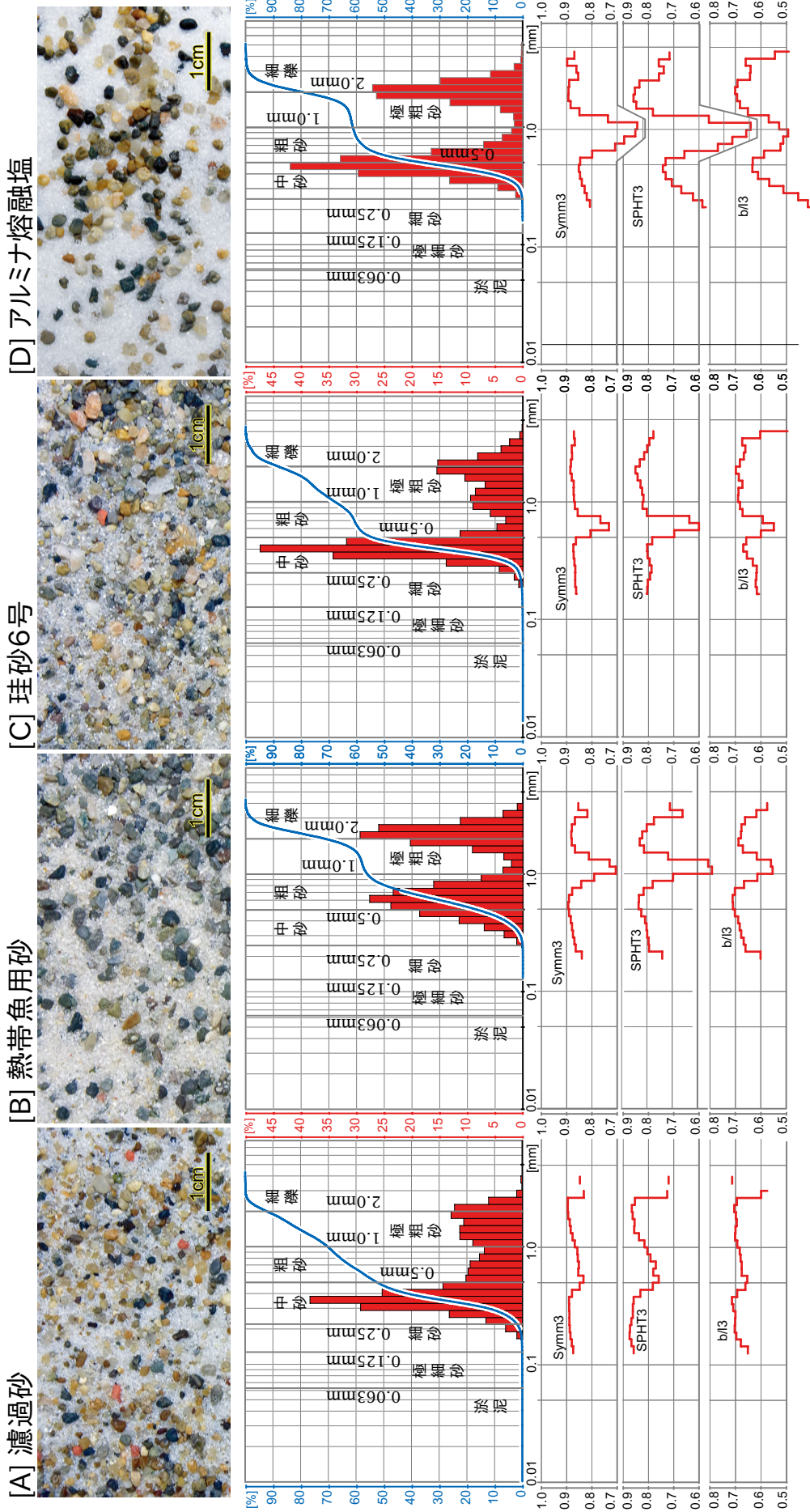
白色の細粒～中粒砂と多色な極粗粒砂～細礫とを重量比で6:4～7:3の割合で混合している。これに砂鉄を少量加える。砂鉄は地層の葉理を明確にする視覚的效果がある。

た砂(フィールドネームとして目代氏に因^{もくだいすな}で目代砂と呼称)です。この砂は筑波大学施設の濾過装置に充填されていたことから、ここでは「濾過砂」(第2図A)と表記し、今回の検討の基準にします。それ以外に、「熱帯魚用砂」(第2図B, フィールドネームとして導入者の川邊氏に因^{かわなべすな}み川邊砂)と、珪砂(第2図C), 熔融アルミナ(第2図D)を検討の俎上に載せました。珪砂は粒度が号数で表記されており、濾過砂に相当する粒径は6号(ϕ 0.10–0.42 mm)なので、こちらを用意しました。これを「珪砂6号」と表記します。というのは濾過砂も熱帯魚用砂も物質の名称としては珪砂だからです。また、調達した熔融アルミナはブラスト研磨用のもので、研磨剤を吹き付けたときに色うつりを嫌う素材用として白色の品質管理をされています。濾過砂に相当する粒径は珪砂とは規格が異なり46番(ϕ 0.30–0.35 mm)が対応しますので、こちらを使用します。これは「熔融アルミナ」と表記します。

それぞれの砂の水路実験での実態は定量的な表現には至っていませんが、第3図に簡単にまとめています。濾過砂(A)は今回の検討での基準になります。これと比べて白さはどうか、斜面崩壊しにくい、が問われます。熱帯魚用砂(B)は前述のように白さは満たしていますが、崩壊しやすい欠点があります。珪砂6号(C)は今回導入した砂で、崩壊しにくい特徴をもつ一方、白さは今一つです。熔融アルミナ(D)は角張っていることから導入したもので斜

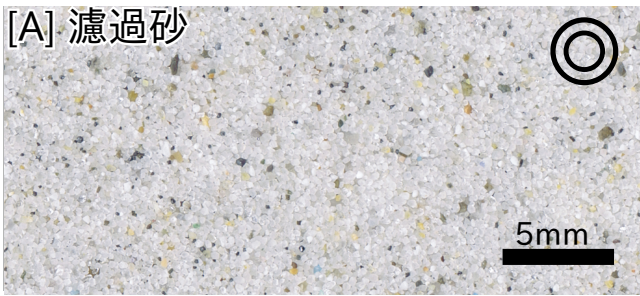
面崩壊しにくさでは非常な特性を発揮しました。第2図にある対称度、真球度、アスペクト比において熔融アルミナは他の砂に対してぬきんで低く斜面崩壊しにくさと関係しているように思われます。ところが、角張っていることが災いして、水路実験の各場面で洗掘されにくく移動しにくいという致命的な欠点があります。たとえば上流での砂山状態では侵食も遅く、子どもたちが退屈しがちです。より深刻なのは海退を起こして三角州が台地になった時です。本来は新しい河川が穿入して侵食河川となる筈ですが、熔融アルミナからなる台地は角ばっているために堆積層に間隙が多く、台地に流下した水流は「乾いた砂に水が浸み込む」ように伏流水化し、一向に侵食されません。結論として、珪砂6号を新規に導入し、熔融アルミナは使用しないことにしました。

以下に、細粒成分(白い砂の部分)にのみ注目して分析・観察を行った結果を示します。混合粒径の堆積に関する研究では、礫まじりの砂は礫だけ、砂だけより、よく運搬されやすいということが知られています(池田, 1984; 池田・伊勢屋, 1985)。この研究では、礫が多く、礫がお互い噛みあう状態だと渋滞しますが、礫が少ないと礫はスムーズに移動し、砂の性質によって移動が規制されることが明らかになっています。水路実験では粗粒成分(細礫)は同じものを使用していますし、混合比としては細粒成分(砂)が多い(6:4～7:3)ことから、砂に注目して以降の観察・

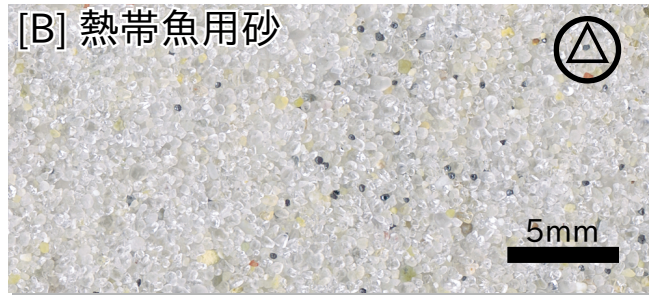


第2図 実験に使用する砂

それぞれの砂は、細粒成分（粒径0.2～1.0mm；中粒砂を主体とする）と粗粒成分（粒径>1mm・極粗粒砂+細礫）とを混合したものである。(A) 細粒成分として濾過砂を利用したもの。(B) 細粒成分として熱帯魚用砂を利用したもの。(C) 珪砂(6号；号数は粒径)。 (D) 細粒成分としてアルミナ熔融塩を利用したもの。上段は接写真、中段は粒径分析結果、頻度分布の棒グラフと積算の線グラフからなる。下段は写真判定による形状評価。Symm3は対称度、SPHT3は真球度、b/l3はアスペクト比。



[A] 濾過砂
元からある砂で、検討の基準。濡れても白い。



[B] 熱帯魚用砂
主観的には崩壊しやすい。濡れても白さを保つ。



[C] 珪砂6号
新しく導入。崩壊しない様に角張った珪砂にした。



[D] 熔融アルミナ
崩壊しない。ただし侵食もされない。白さが一番。

第3図 検討した砂（細粒成分）の接写写真

(A) 濾過砂；(B) 熱帯魚用砂；(C) 珪砂6号；(D) 熔融アルミナ。写真の下に簡単に特徴を示した。

◎：とても良好，○：良好，⊙：準良好，×：不適

分析を進めています。なお、礫の比率を上げることで斜面崩壊を起こしにくくすることも可能かもしれません。ただし、上記の研究を援用すると、比率をあげすぎると流れない“砂”になることが予想されます。最適な礫/砂混合比は今後の課題かもしれません。

2.1 形状観察

最初にそれぞれの細粒成分だけを篩で取りだした写真を提示します(第3図)。写真は、たとえ照明を同一条件にしても撮影器材の特性や印刷の関係で色調の再現性には困難がありますが、熔融アルミナが一見して白いことは見てとれると思います。また、珪砂6号は赤っぽい色調がわずかに認められます。

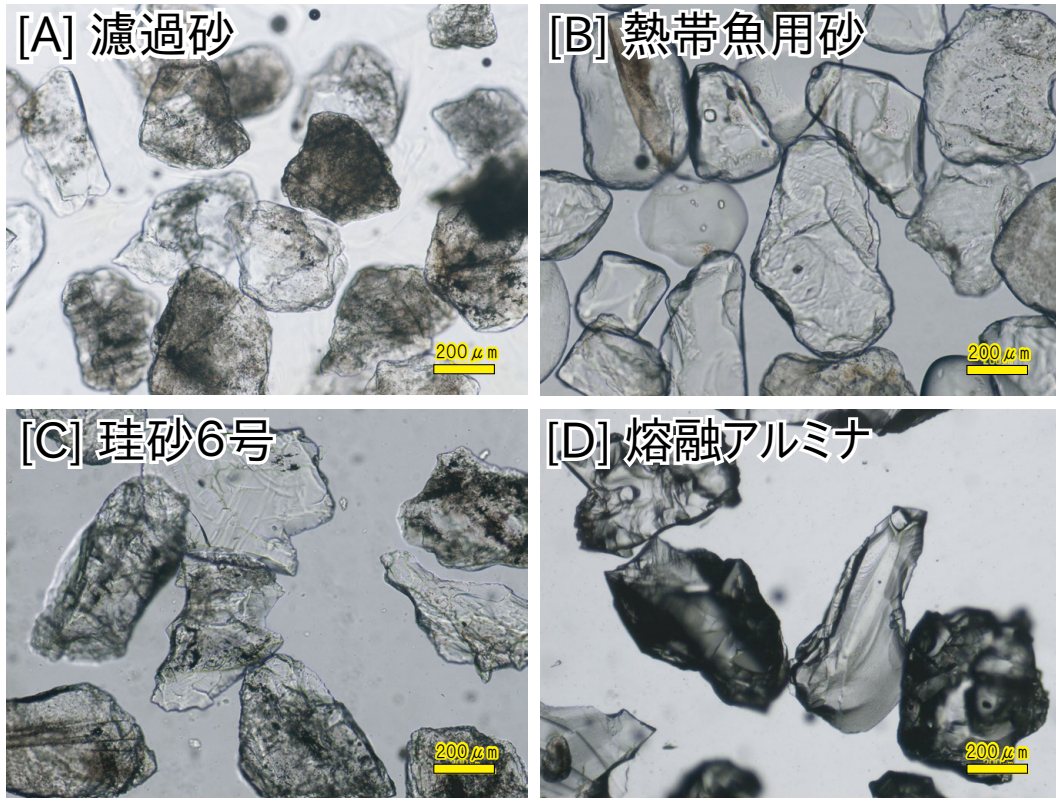
次に光学顕微鏡による写真を提示します(第4図)。一見してわかることは、熱帯魚用砂(第4図B)が非常に円磨(well-rounded: Tucker, 1982)されていること、及び、熔融アルミナが顕著に角張っていることです。熱帯魚用砂は、熱帯魚が口に含むことから人為的に円磨させているものがあり、これもその一つなのでしょう。熔融アルミナは爆発的噴火にともなう火山ガラスかと見間違えうくらいに尖っています(very angular, “極角状”)。それもその筈で、熔融アルミナはアルミナのメルトを急冷・粉碎したもので、火山ガラスと同様の過程で生成したものです。た

だ、違いは、アルミナ粒子の界面が暗くなっていることで、これは火山ガラスではあまりお目にかかれなれないと思います。これは熔融アルミナの屈折率が高いため(1.76程度)です。それ以外の砂は石英から成っており、屈折率は1.53～1.55です。

濾過砂と珪砂6号の円磨度は亜角(sub-angular)で、濾過砂のほうがやや角が落ちています。また、これらの砂は流体包有物を大量に含有していることも特徴にあげられ、熱水起源の石英を想像させます。このような流体包有物があることによって乱反射が増し、濡れた時の白さを維持している可能性があります。濡れた時に白さが減じるのは砂粒子表面の乱反射が低減することによるためです。原理的には乱反射する要素が多ければ多いほど白さが増すこととなります。新車を紙やすりで擦ると白っぽくなりますが、これは表面に微細な凹凸ができて乱反射が増すため、乱反射が白さの鍵になると考えられます。

2.2 粒径特性

粒径分析はRetsch Technology社製のCamsizer P4を用いて行いました。この粒径分析装置は自由落下する粒子をデジタルで撮影し、その画像解析から粒度分布と粒子形状について測定できるというものです。まず、粒度分布を第5図に示します。どの砂も山がひとつの分布で、あまり分



第4図 検討した砂の顕微鏡写真
(A) 濾過砂；(B) 熱帯魚用砂；(C) 珪砂6号；(D) 熔融アルミナ。

布には違いがないといえます。最頻値は、濾過砂(A)が中粒砂領域の0.35 mmにあり、熱帯魚用砂(B)が粗粒砂領域の0.6 mmに、珪砂6号(C)が中粒砂領域の0.4 mmに、熔融アルミナ(D)も同様に中粒砂領域の0.45 mmの領域にあることがわかります。また、各砂の中央粒径値は第6図iに示しました。最頻値と同じく、熱帯魚用砂(B)で高い値(0.57 mm)を示しています。

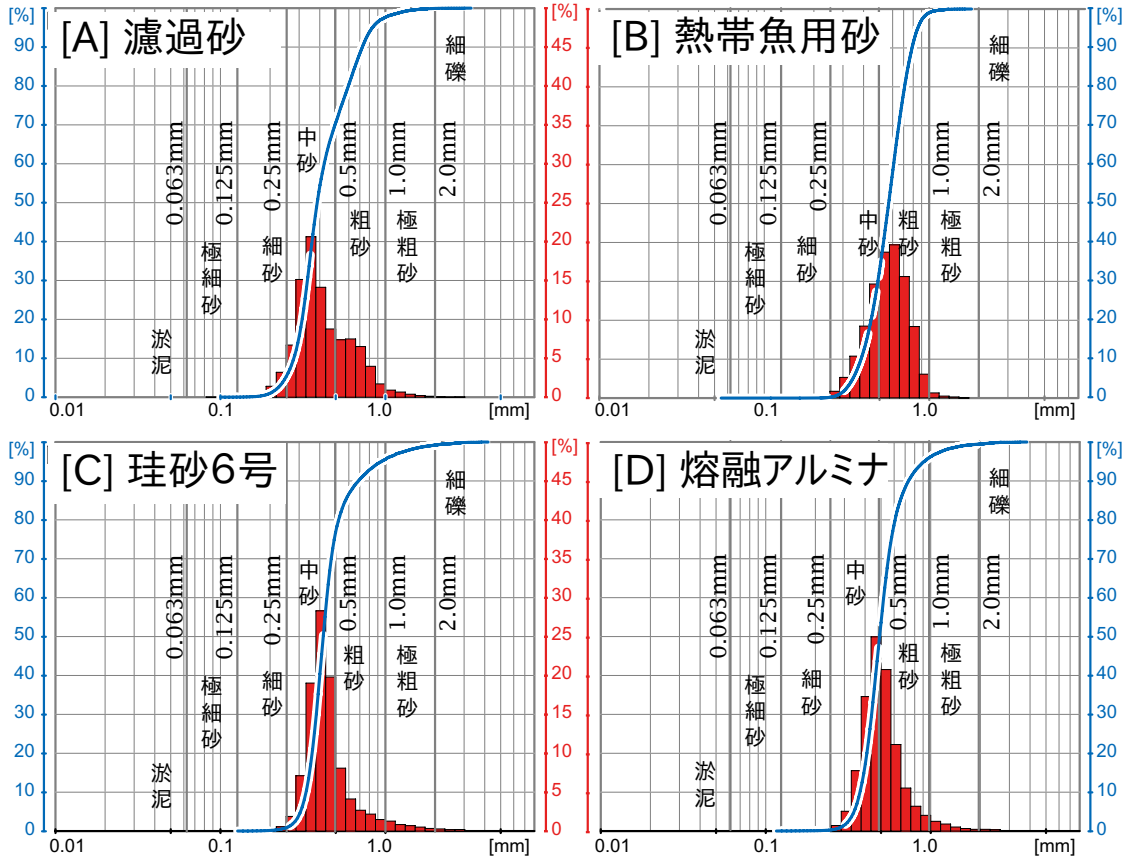
この粒径測定装置は画像解析から形状に関するいろいろな指標を取り出すことができます。今回とりあげるのは、対称度、真球度、アスペクト比で、第6図iに示します。理解が容易なのはアスペクト比で、粒子(の影)を楕円として近似した場合に長軸と短軸の比(短軸/長軸)で表現されます。円であれば長軸と短軸は同じですから1になり、楕円が伸びれば伸びる程、0に近づきます。真球度は「粒子(の影)の面積」を「粒子(の影)の外周の自乗を 4π で除したもので割ったもので、真球(円)であれば1になり、外周が増えても面積がほとんど増えないような形状、つまり突起物が多い形状になれば1を下まわります。円の場合、半径を r として、外周($2\pi r$)を自乗して 4π で除せば円の面積(πr^2)になることから、これは面積と外周とを比べる指標であることがわかります。対称度は線対称の指標で、計算方法が少し複雑ですので厳密な説明は

省略しますが、粒子(の影)の重心からの距離の最短のものとの最長のものの比(最短/最長)が最小のものを求めて計算します。こちら円だと対称度が1になり、対称度の低いものほど値は小さくなります。それぞれの詳しい説明はRetsche Technology(2017)のカタログをご覧ください。

これらの値を見てみると、崩壊しやすい熱帯魚用砂(B)が、対称度、真球度、アスペクト比のどれも高く、崩壊しにくい熔融アルミナはどれも小さいことがわかります。これらは主観的な印象と符合しており、かつ、検鏡結果とも一致しています。また、濾過砂(A)を基準とした場合、要求される対称度、真球度、アスペクト比の範囲もある程度制約できそうです。

2.3 安息角

これらの砂の安息角を乾燥状態と湿潤状態の2状態でそれぞれ測定しました(第6図i)。基本的には砂の安息角の代表値である30度に近い値なのですが、熔融アルミナ(D)の40度(乾燥)、38度(湿潤)が突出している一方で、熱帯魚用砂(B)の32度(乾燥)、30度(湿潤)は、濾過砂(A)や珪砂6号(C)(35~37度程度)に比べて低い値と



第5図 検討した砂の粒径分析結果
 (A) 濾過砂；(B) 熱帯魚用砂；(C) 珪砂6号；(D) 熔融アルミナ。

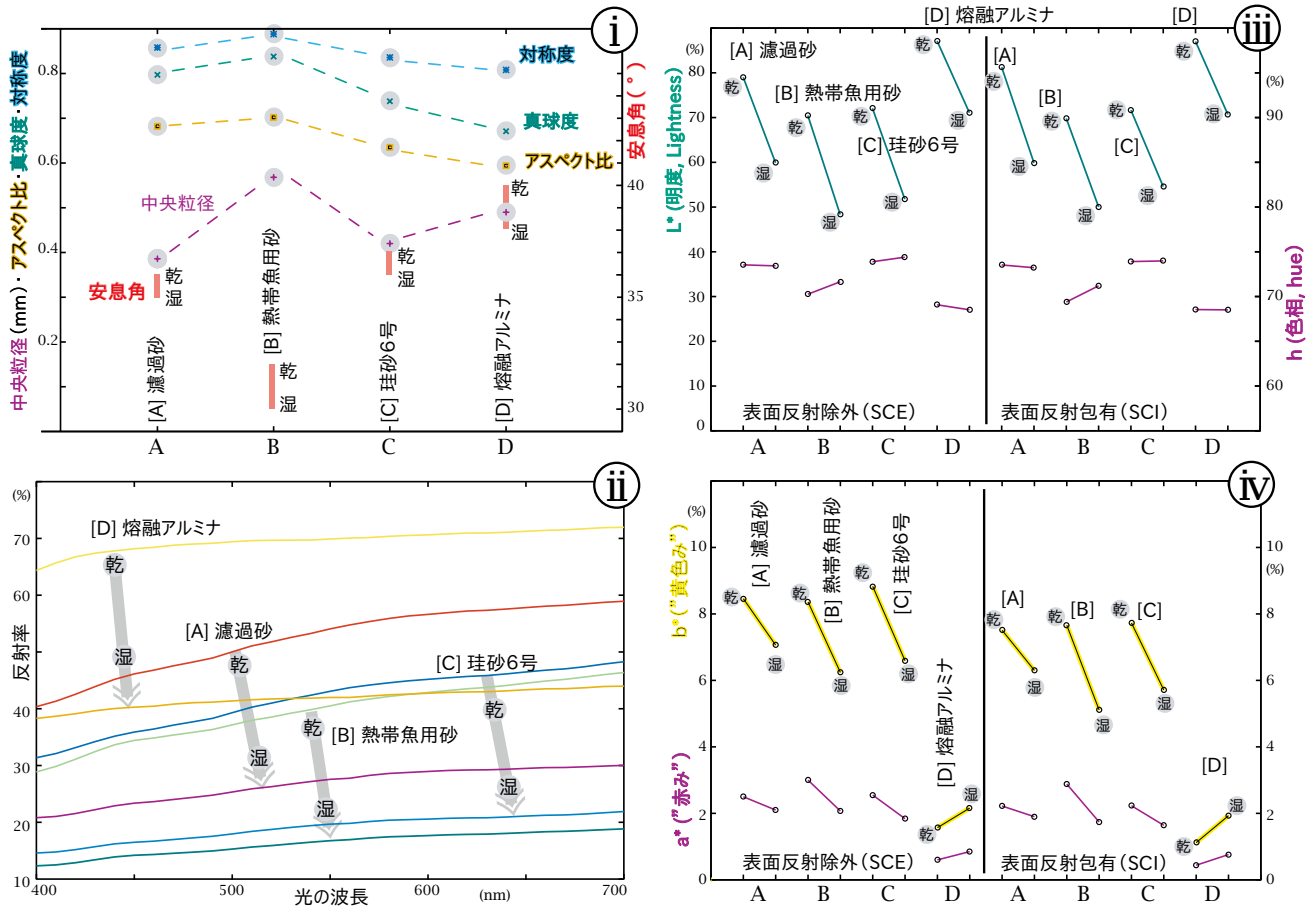
なっています。粒子形状の凹凸の有無と安息角の大小は関係しているかもしれませんが。たとえば、豊浦(山口県)標準砂とガラスビーズと珪砂とでは、安息角が大きく違うことが示唆されており(蜂谷ほか, 2008), それぞれ 34 度程度, 24 度程度, 36 度程度となっています。これらの粒子集合は粒径調整がなされており, 珪砂と豊浦標準砂は同じ石英ですので密度は同じで, ガラスビーズも成分によりますが, 石英とは大きく変わらないことから安息角の大小は形状によることが読みとれます。

2.4 分光分析

水路実験で使用する砂は、濡れても白いことが望ましい条件と考えています。砂の白さを定量化するために分光測色を実施しました。測定器はコニカミノルタ製の CM-2022 です。測定条件は白い蒸発皿に測定すべき砂を 1 cm の厚さで敷き詰め、乾燥状態／湿潤状態の 2 状態で測定しました。分光スペクトラムを第 6 図 ii に示します。この図は、横軸は光の波長を示します。右は 700 nm で赤色(>700 nm は赤外線), 左は 400 nm で青(紫)色(<350

nm で紫外線)になり、400 ~ 700 nm がほぼ可視光の領域になります。縦軸は反射率でその波長の光がどれくらい反射したかをパーセントで示しています。全体に言えることは、濡れると反射率は低下(20%程度)し、しかも長い波長(赤側)ほど低減率は大きいことです。つまり、濡れるとすこし暗く、青っぽくなります。濡れると色が暗くなることは日常生活で感じている主観と一致しています。赤側で低減率が大きいのは光の散乱のしやすさが波長によって異なり、長波長(赤側)のほうが散逸しやすく、測定窓に返ってこない光が長波長のほうが多くなるためと考えられます。より広い面積を測定すると散逸した長波長成分も測定できるため、これとスペクトルが異なる可能性があります(測定における面積効果)。色の測定については Hunt and Pointer (2011) や大田(2005)をご参照ください。

スペクトルを俯瞰すると、第 6 図 ii に実線で示したように、熔融アルミナ(D)が全波長域において最も高い反射率(乾燥 65 ~ 72%, 湿潤 38 ~ 42%)をもっており、波長 400 nm での反射率と 700 nm での反射率の差も最も小さくなっています。これは熔融アルミナ(D)が最も白く、特に色目(色調)がついていないことを示しています。



第6図 粒径分析、安息角及び分光測色データ

i) 粒径分析・安息角。安息角は乾湿両方の値を示した。ii) 分光スペクトル。こちらも乾湿両方のスペクトルを示した。iii) L^*C^*h 測色系における明度 (L^*) と色相 (h)。iv) $L^*a^*b^*$ 測色系における a^* (“赤み”) と b^* (“黄色み”)。SCE は表面の反射 (主に乱反射や鏡面反射) を除いたもので、SCI はそれらの光を含めた測定値。

その次に高い反射率をもっているのは濾過砂 (A) (乾燥 40 ~ 60 %, 湿潤 20 ~ 30 %) で、熔融アルミナ (D) に次いで白いことを表していますが、400 nm の反射率と 700 nm の反射率の差は多少あり、すこし赤めの色目になっていることを示しています。珪砂 6 号 (C) と熱帯魚用砂 (B) はほぼ同じスペクトルで、濾過砂の 10 % (湿潤で 7 %) くらい下をほぼ平行に伸びています。これは濾過砂と色調は似ていて、白さは少し落ちることを意味しています。

次に、スペクトルから色の特徴を数値化したものを示します (第6図の iii と iv)。指標として CIE (Commission Internationale de l'Éclairage, 国際照明委員会) の $L^*a^*b^*$ と L^*C^*h を用います。 L^* は明るさ (lightness), a^* は赤み (負の値は緑), b^* は黄色み (負の値は青み) になり、これらは互いに独立な値をとります。 C^*h は a^*b^* を極座標系にしたものです。 C^* は彩度 (chroma) で、 a^*b^* 平面上の原点からの距離として計算され、大きい程、 a^* または b^* が大きく、色がついていることを意味します。 h は色相

(hue) で、 a^* と b^* の直交座標系の a^* からの角度で示される値で、0 度が赤、90 度は黄色、180 度が緑、270 度が青になります。したがって、白いとは、 L^* が大きく、 a^* も b^* も小さいことになります。 h は a^*b^* が小さくても 0 でない限り角度が生じるので何らかの値にはなりますが、白さとは直接の関係はありません。関係するのは C^* (彩度) で、 C^* が小さい程、色がついていない (無彩色) ことになります。

さて、測定結果を見ると、スペクトルで触れた通り、濡れた砂は乾いた砂よりも明るさ (L^*) が小さくなっており、20 % 程度の低下で (あたりまえですが) スペクトルでの低減率と一致しています。 L^* の値としては熔融アルミナ (D) がもっとも高く、次いで濾過砂 (A) で、熱帯魚用砂 (B) と珪砂 6 号 (C) はこの中では低い値になっています。色相 (h) を見ると、どれも 68 ~ 75 程度で、自然言語での色表現としては、赤みのある橙色になります。肉眼では熔融アルミナ (D) は白色で赤みのある橙色ではないのですが、

上で述べたように a^* , b^* の値の比から計算上は何らかの色が算定されます。 C^* を見ると、他が 6~9 程度なのに対して熔融アルミナ (D) は 1~2 とほとんど無彩色で、実際には色として認識されるほどの彩度はないことを示しています。

肉眼では珪砂 6 号 (C) は熱帯魚用砂 (B) よりも赤っぽく見えますが、色相での差異は僅少で、 a^* (赤み) も同程度で、むしろ熱帯魚用砂 (B) のほうが a^* は大きい値をとっています。一方で、 b^* は珪砂 6 号 (C) のほうが大きく、珪砂 6 号 (C) が赤っぽく見えるのは黄色の強さに由来するのかもしれません。

3. おわりに

以上の検討を踏まえると、水路実験に適当な砂の条件は以下ようになります。粒子分析から言えることは、1) 色調的には、包有物の多い石英砂が適当で、粒子形状は angular で対称度が低いほうがよい。ただし、2) angular であればあるほどよい、というものではない。熔融アルミナ (あるいはガラス質火山灰) のように極端に角張っているものは洗掘自体が起きにくく、堆積以前に運搬されないという問題がある。3) 粒径は 0.4~0.6 mm 程度 (中粒砂の領域) を使用していて、4) 形状特性としては、対称度は 0.85 程度で実用に耐える (瀘過砂) といえる。真球度は 0.75 以下が望ましいが 0.8 程度でもよく、アスペクト比は 0.7 以下が望ましい、となります。ただ、これらは測定器がないと統計的に有意なデータは取得しにくいかもしれません。5) 安息角は、手軽に測定でき、実際の前置層安定性と深く関係する指標ですが、乾湿ともに 35 度以上あってほしく、33 度以下だと崩壊のリスクが高くなりそうです。

色調としては、明るさ (lightness) L^* が乾燥状態で 70 以上、湿潤状態で 45 以上が望まれます。 L^* だけなら測色計がなくてもデジカメで測定は不可能ではありませんが、肉眼で判断するほうが手軽で正確でしょう。

現行の地質標本館では、熱帯魚用砂 (B) と珪砂 6 号 (C) も使用していますが、そのほかに、元職員の磯部一洋氏がストックしておいた新島羽伏浦 (東京都) で採取された流紋岩の火山島の海砂も運用しています。今回は具体的にデータを示しませんが、流体包有物は少ないものの比較的白く、比較的尖っており (sub-angular ~ sub-rounded)、地すべりに対しても好調な成績のようです。参考までに、中央粒径は 0.46 mm、真球度は 0.71、対称度は 0.83、アスペクト比は 0.65 となっており、角が若干落

ちていることを除けば瀘過砂とほぼ同じ粒径・粒子形状をしている、といえそうです。また、アイディアとしては、今回は使用に耐えなかった熔融アルミナと円磨度の高い石英砂とを混合して、より崩壊しにくい砂を調製することも可能かもしれません。

最後に、新型コロナウイルス感染症 (COVID-19) 予防の対策で校外学習の自粛が続いているという状況においても、このような実験手法が途絶えることなく、イベントが再開された時には子どもたちや市民にブラッシュアップされた川と海の堆積実験を見ていただき、地球科学にさらに親しみをもってもらえるように願ってやみません。

謝辞: 分光測色計については中村光一氏 (当時、GSJ 研究戦略部) に測定器使用の便宜を図っていただきました。粒度分析については地質情報研究部門の七山 太氏に機器操作等をご教示いただきました。東北学院大学の目代邦康氏、ならびに活断層・火山研究部門の川邊禎久氏には水路実験を実施し本検討を行う上で適切な助言をいただきました。記して謝意を表します。

文 献

- 蜂谷菜穂子・菊池剛志・飛田善雄・山口 晶・吉田 望 (2008) 粒状体の安息角と流動に関する基礎的実験。平成 20 年度土木学会東北支部技術研究発表会講演概要集, 289-290。
- Hunt, R.W.G. and Pointer, M.R. (2011) *Measuring Colour, fourth edition*. Wiley and IS&T series in imaging science and technology, 469p.
- 池田 宏 (1984) 二粒径混合砂礫の流送に関する水路実験。筑波大学水理実験センター報告, no. 8, 1-15。
- 池田 宏・伊勢屋ふじこ (1985) 粗砂の運ばれやすさに及ぼす細砂の影響。筑波大学水理実験センター報告, no. 9, 43-47。
- 石原 清 (2008) 生徒の興味を惹く地学実験器具の開発 (2 年次)。島根県教育センター平成 20 年度研究紀要, 1-13。 https://www.pref.shimane.lg.jp/education/kyoiku/kikan/matsue_ec/chousa_kenkyu/h15-h20kenkyuseika/19nendo.data/kojin_ishihara.pdf (閲覧日: 2018 年 9 月 21 日)
- 小山ちさと (2006) 児童一人ひとりが実感を伴って学べる理科の授業づくり。神奈川県立総合教育センター長期研修員研究報告, 4, 33-36。
- 大田 登 (2005) 色彩工学 (第 2 版)。東京電機大学出版

局, 311p.

Retsche Technology (2017) CAMSIZER P4-Partikelgr-o:1en- und Partikelformanalyse mitdynamischer Bildanalyse (カムサイザー P4 のカタログ). ヴァーダー・サイエンティフィック株式会社, https://www.retsch-technology.jp/dltmp/www/53e4b554-e528-4a46-ba78-636500000000-6d893f1588c2/brochure_camsizerP4_de.pdf (閲覧日: 2018 年 8 月 24 日) ルートページ (リンク切れの時のために) は <https://www.retsch-technology.jp/jp/products/dynamic-image-analysis/camsizer-p4/downloads/>

Tucker, M.E. (1982) *Sedimentary Rocks in the Field (Geological Field Guide)*. Wiley, West Sussex, UK,

234p.

辻野 匠・森尻理恵・佐藤隆司・高橋 誠・下川浩一・須藤 茂・利光誠一 (2020) 地質標本館における「地層の話」プログラム (前編) 三角州の形成と海水準変動の再現実験の紹介. GSJ 地質ニュース, 9, 317-326.

TUZINO Taqumi, MORIJIRI Rie, SATOH Takashi, TAKAHASHI Makoto, SHIMOKAWA Koichi, SUTO Shigeru and TOSHIMITSU Seiichi (2021) Flume experiment in Geological Museum, AIST, GSJ (Part 2) - Sand characteristics suitable for experiments on delta development in response to sea level changes.

(受付: 2021 年 3 月 3 日)