

構造色で描く

人工オパールで絵を描く科学教室の開催

Drawing with structural colors: Holding a science event to draw pictures using artificial opals

小野 洋介

Ono Yosuke

神奈川県立産業技術総合研究所

Abstract: This study reports on drawing pictures with structural colors using artificial opals. We identified three issues in drawing on a black plate with a brush and then devised several ideas to hold a science event, certainly “the only one” in the world, for

Key Word: Pigment, Color, Science Event

elementary school students. We hope that this initiative will lead to the spread of the artificial opal instead of traditional pigments, and the development of innovative talents in science, arts and design.

1. はじめに

色は、アートやデザインの印象を大きく左右する。これらのうち耐候性や耐熱性などが要求される着色には、無機顔料が使われている。コバルトブルーやカドミウムイエローと呼ばれるように、無機顔料は重金属による光の吸収を原理として色を発現する。一方、本研究が扱う「構造色」は、その名の通り、構造が特定の条件を満たしたときに発現する色である。構造で発色するため化学組成に制限がなく、当然、重金属を用いる必要もない。具体的には、資源豊富な酸化ケイ素（シリカ）で色を発現できる。また、その構造をコントロールすることにより、同一の素材で紫、青、緑、黄、橙、赤などの狙った色を発現することもできる。

構造色は天然にも存在し、世界で最も美しい蝶と形容されるモルフォチョウの翅や虹色に輝くオパールの色も構造色である。オパールの構造は、数百ナノメートル（1 ナノメートルの長さは0.000001 ミリメートル）の球状粒子を化学合成し、規則的に配列させると人工的に模倣できる（図1）[1]。波の性質を持つ光が、粒子の規則配列からなる周期構造によって位相が揃い強め合うように反射されて色を発現する（図2）。複数の方向に周期を持つ三次元構造では、光の角度によって見える色が変わるユニークな特徴を示す。人工オパールの塊は、人工宝石としてアクセサリなどに使用され販売されているが、筆者らは人工オパールの粒子を顔料として塗って使う研究を進めてきた。

一昨年は国宝「曜変天目」の色彩を表現した茶碗[2]を、昨年は水を注ぐと花の模様が現れる花器[3]を発表した（図3）。レアメタルを使うことなく資源豊富な物質でユニークな色彩を表現できるため、SDGs が叫ばれ、また、製品のデザイン性が重視される時代の潮流に乗って、新たな顔料として人工オパールが使われていくと期待している。その普及に向けて、「構造色で絵を描く」をテーマに小学生向け科学教室を開催することとし、絵具としての人工オパールの使用上の課題を抽出して工夫を加えた。開催結果と合わせて発表する。

2. 試作と工夫

人工オパールは、3種の液体を混ぜると合成できる[1]。液体同士の化学反応によって大きさの揃った粒子が析出し、牛乳に似た白い分散液が得られる（図1）。これを塗ると、液が蒸発する過程で粒子が規則的に配列し、図2に示した原理で構造色を発現する。試薬の配合比に依存して色が異なり、原理上、全ての有彩色を網羅して作ることができる。科学教室では、「白っぽく似たように見えた人工オパールが、塗ると違った色を発現する」現象を小学生に体感してもらいたいと考えた。そこで、80%エタノール水溶液 25 g に加えるオルトケイ酸テトラエチル ($\text{Si}(\text{OC}_2\text{H}_5)_4$)

と 1 mol/L アンモニア水の比を 6.5 g : 8.5 mL、5.1 g : 6.6 mL、5.8 g : 7.5 mL と変えて、青系、緑系、赤系の 3 種を合成した。

次に、人工オパールを塗る基材として、アルマイト処理された黒色のアルミニウム板を選定した。理由は、①濡れ性が高く、②光を吸収し、③表面が平らなためである。①液が濡れにくいと液が弾かれてダマになってしまうが、アルマイト処理された表面は酸化被膜の水酸基によって水溶液が濡れやすいと考えられる。②白色の基材では届いた光が反射されて人工オパールの構造色のコントラストが低い（図4 (a)）、黒色の基材では光が吸収されて人工オパールによる反射光のみが目に入るため、構造色を視認しやすいと考えられる（図4 (b)）。人々を魅了する色彩を放つ国宝「曜変天目」のベースの色が黒色であることも、理に適っていると言える。③凹凸基材では、凹部に液が溜まって人工オパール層の厚みに差を生じ、凹部と凸部で見え方が異なった。極端な事例であるが、層が薄いと図3 (a)に示した「曜変天目」レプリカの色のよう見え、厚いと図3 (b)のように全体的に白っぽく正反射光の色のみが高輝度に見える。今回は、小学生向けに塗りやすさを重視して平らな基材を用いることとした。この理由に加え、表面光沢によって構造色を綺麗に表現できるメリットもある。

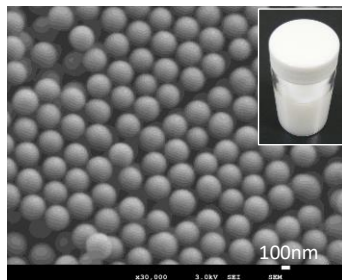


図1 試薬から合成した人工オパール

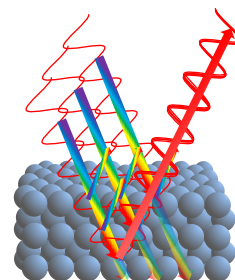


図2 構造色の発色原理

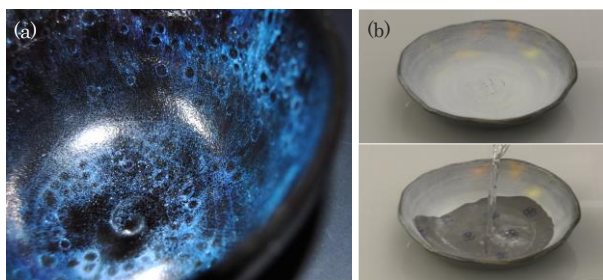


図3 人工オパールを使用して制作してきた作品；(a)国宝「曜変天目」のレプリカ、(b)水を注ぐと花の模様が現れる花器

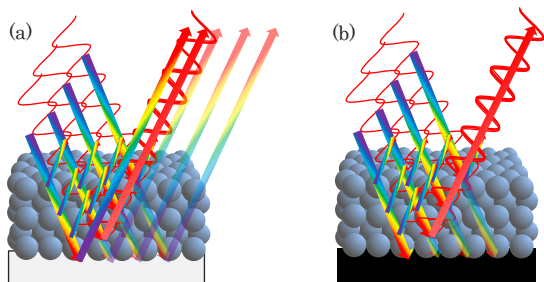


図4 光反射の模式図；(a)白い基材、(b)黒い基材

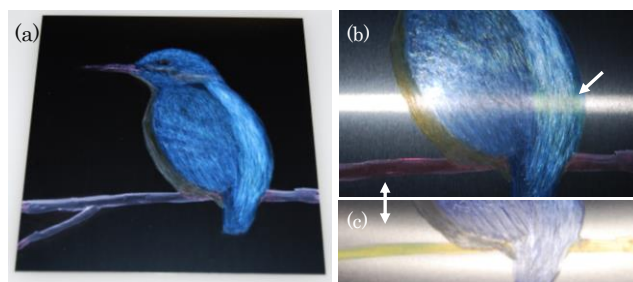


図5 試作品の写真；(a)全体像、(b),(c)光の当て方を変えた写真



図6 人工オパールを砕いて塗って絵を描く小学生向け科学教室の様子



図7 参加した小学生の作品の一例

150 mm 角の板にカワセミの絵を描いた試作品を図5に示す。前述したように同じ色を重ねて塗ると白色に近づくため、これを利用して羽の色合いを調整した。構造発色は光の吸収ではなく反射のみを原理とするため、光の三原色と同様に、色を混ぜた場合も白色に近づいた。正反射光や付近の部分では薄く重ね塗りした緑色を視認でき(図5(b))、赤色で描いた木は斜めからの正反射光では黄緑色に見えた(図5(c))。これらは構造色にしか表せない表現と言える。試作を通して、小学生向けの科学教室であることを念頭に置くと、分散液の臭いが一つ目の課題として挙がった。また、液が蒸発するまで何色か分からない塗りにくさが二つ目の課題として挙がった。さらに、人工オパールはアルミニウム板の上に乗っている状態であるため、拭き取ると落ちてしまう。何度でも描きなおせるメリットと同時に、完成後の作品表面に触ると色が落ちるデメリットが三つ目の課題として挙がった。

科学教室では、人工オパール分散液を予め蒸発させて臭いの原因である液を除去した塊を使用することとした。固化した人工オパールの塊を砕き、アルコールを加えて分散させてから塗ると、蒸発しやすいアルコールの性質のため数秒で色が見えた。また、完成後の人工オパールに触っても色が落ちないよう、表面にフィルムを貼って額に入れることとした。もちろん、壁に掛けて飾ることもできる。

3. 科学教室の開催

筆者が所属する研究所の小学生向け夏休みイベントの一つとして、令和6年7月27日(土)に本研究の科学教室を開催した。注意事項としてアルコールを使用する旨を記載した上で、小学4年生～6年生を対象に参加者を募集した。57名の応募があり、抽選に当たった15名(保護者同席のため計30名程)が参加した。当日は、乳鉢・乳棒で人工オパールの塊を砕いて、スポイトでアルコールを加えて、14号の水彩筆で絵を描く作業を体験し

てもらった(図6)。小学生が制作した作品の一つを図7に示す。砕いた人工オパールの粉っぽさを積極的に表現に活かしながら、3色を使い分けて水彩画を描くように制作したことが伝わる。

アンケートの項目はイベント全体で統一されており、この科学教室の面白さは「とても面白かった」10名、「面白かった」5名、「普通」0名、「面白くなかった」0名であり、分かりやすさは「とても分かりやすい」5名、「分かりやすい」10名、「普通」0名、「難しい」0名であった。高等学校で習うような難しい光と色の原理の割には、分かりやすさも高かったと思う。自由欄には、「色が綺麗だった」「人工で作れると知ってびっくりした」「塗るまで色が分からないのが良かった」といった人工オパールに関する感想が多く、「光の波長の話聞いて、とても興味を持った」という科学への興味・関心に関する感想もあり、本望であった。

4. おわりに

“宝石の絵具”で絵を描くという唯一無二の科学教室の開催に至り、子供たちに驚きや喜び、感動を味わってもらえたと思う。開催に向けて工夫を重ねる中で、人工オパールの新しい形態での使用方法を生み出すことができ、新時代の顔料としての利用可能性を広げることができた。

参考文献

- [1] Y. Ono: Application of silica opals to ceramic pottery, J. Asian Ceram. Soc., 8, 578-585, 2020
- [2] 小野洋介: 人工オパールによる国宝「曜変天目」の色彩の表現, 日本デザイン学会第70回研究発表大会 デザイン学研究, 70, 520-521, 2023
- [3] 小野洋介: 構造色による斬新なデザインの具現化, 日本デザイン学会第71回研究発表大会 デザイン学研究, 71, 522-523, 2024