

色彩学の体験的学習に関する研究

—教材開発：継時加法混色体験用「ふきごま」の設計—

小 林 政 司

1. はじめに

色彩関連科目の需要は、生活関連分野の学科やコースの増設とも連動し今後ますます高まるものと予想され、また学生の側には色彩の持つ楽しいイメージから強い興味を示すものが多く、その需要に応える必要もある。平成 17 年度現在、本学被服学科でも「色彩学」、「カラーコーディネート演習」などの科目が設置され、また文部科学省認定の資格試験 AFT 色彩検定（ファッションコーディネート色彩能力検定）については対策講座を開講するなど色彩やその応用分野に関する教育が実施されている。さらに今後は、科学的な視点から色彩学の体験的学習を実現する場としてたとえば「色彩学実験」あるいは「色彩科学実験」など新規科目の設置が必要になると考えられるが、現状ではこうした立場を重要視した科目は、本学のみならず他大学でも充実した状態にあるとはいえない。

ここでは、こうした色彩関連の体験的学習に対する今後の需要を見越し、これらの科目の内容に関しての検討を行うと共に、その内容に応じた教材開発を行い、今後の授業進展の一助としたい。本稿では、教材開発活動の一環として取り組んだ継時加法混色体験用「ふきごま」について述べることとする。

2. 混色について

一般的な色の混色には、加法混色 (additive color mixture) と減法混色 (subtractive color mixture) が存在する。これらの混色は光源色の混色と表面色の混色、あるいは色光の混色と色材の混色、またより現実的なものとしては絵の具の混色と光の混色などとして区別され、当然、混色の考え方も異なれば三原色 (primaries) もまったく異なるものとなる。さらに、これらに加え中間混色と呼ばれる人間の視覚機能の限界を超えた際に発生する混色がある。中間混色は物体の表面色において発生する、すなわち反射光によるものが多いので減法混色の延長として捉えがちであるが、実際には光量すなわち明度が平均化される点が異なるものの加法混色と同じ原理で説明が可能である。なお、中間混色には併置 (並置) 加法混色と継時加法混色の種類がある。併置加法混色とは、反射光が空間的な意味で視覚の弁別閾あるいは分解能を超越した場合に発生し、点描画や先染織物などにおける混色現象がその例として挙げられる。視覚系においてその分解能は一般に視力として知られ、分 (') 単位の最小視角すなわち分離が識別できる外界の 2 点と眼との間にできる角度の逆数として定義されている。たとえば、視力 1.0 では視角 1' の視標をかろうじて見分けられることになる。なお、視角 1' とは 1.5mm の視標を約 5 m の距離から

観察したときに得られる。一方、プロセスカラー印刷などでは、減法混色と同時にこの併置混色が発現しているが、一般に175線inch⁻¹、ピッチに換算して約0.15mmの網点が採用されている。また、MS Windowsなどのコンピュータ用OSは、標準的な画像解像度として96 dpiを想定していたり、各種ディスプレイ機器では0.25mm程度のドットピッチを有しているものが多く、これらが弁別能力の目安となろう。なお、CRTやLCDなどのディスプレイにおける混色現象をこの例として挙げる向きもあるが、これらは一種の光源であり反射光についていわれる中間混色としての併置加法混色とは趣を異にするものであると考えるのが妥当であると思われる。

継時加法混色とは、時間的な意味で視覚の弁別閾を超越した場合に起こる混色現象であり、色こまなどに見られる回転混色がその代表例である。混色の例ではないが、原始的なものとしては1825年にイギリスで考案、子供用に発売されたソーマトロープと呼ばれる玩具があり、これは表裏に絵（鳥籠と鳥など）を描いた円盤の左右にひもを付け、ねじって回転させるとそれらの絵がひとつに重なるものである。さらに映画やテレビジョンなどでは、動きを記録する時には、ある種のレートで瞬間、瞬間を静止画としてサンプリングし続け、それを連続的に再生することにより動きが再現される。これらはいずれも人間の網膜が持つ残像現象を応用し、仮現運動あるいは間欠運動とも呼ばれる知覚現象を利用している。今日、映画のカメラ、映写機の記録・再生レートは1秒間に24フレームが、テレビジョンの場合は、25フレームあるいは30フレームが標準となっている。いずれもフリッカ（ちらつき）の防止のため複数回照射したり、インターレース方式の走査を行うなどの工夫がなされている。すなわち数十分の1秒程度がフリッカを感じない限度ということで、これが視感覚の時間的な限界の目安と考えられる。また、Maxwellにより考案された円盤回転式混色計でも適当な回転数は約1500～1800rpmすなわち1秒当たり25～30回転が適当とされている。

中間混色では、一般的な加法混色すなわち同時加法混色と同じ混色原理で説明が可能であるが、成分の色の空間（面積）的あるいは時間的な占有が部分的であるためそれらの加重平均を算出する必要がある。また、教授の面から言うと、学生は絵の具などの混色には慣れ親しんでおり、減法混色に関しては体験的な知識を有するものが多いが、加法混色に関しては意外と理解度が低く、たとえば「赤」と「緑」の混色で「黄」が得られることを理解しているものは少ない。またこれを体験的に教授された例もほとんど無いのが現状のようである。さらに中間混色においては、表面色にもかかわらず加法混色の原理が適用されること、さらに面積や時間での加重平均が必要であることなど、さらに複雑な思考を必要とするので、その現象を体験なくして理解するのはきわめて困難と予想される。

以下、この中間混色、特に継時加法混色を体験的に理解するための「ふきごま」の開発に関して述べる。

3. 「ふきごま」の作成

「ふきごま」そのものに関しては、折り紙として比較的一般的なものとして知られ、Fig. 1に示すように、手で包み込むように支え、息を吹きかけ回転させて遊ぶ。また、多色の折り紙で作

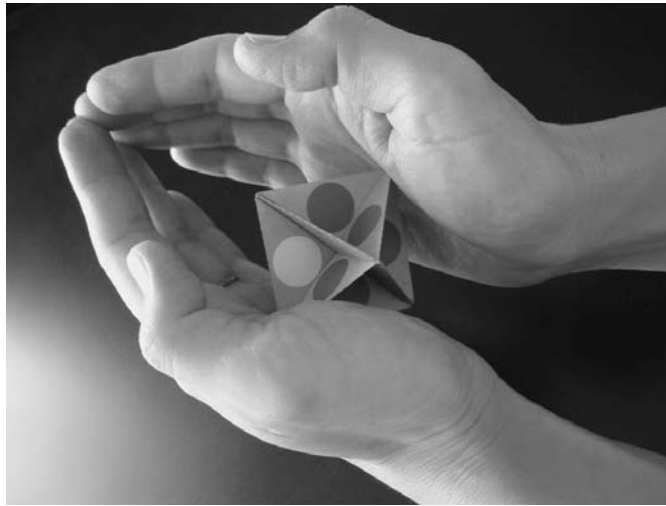


Fig. 1 Use of the “Fukigoma”.

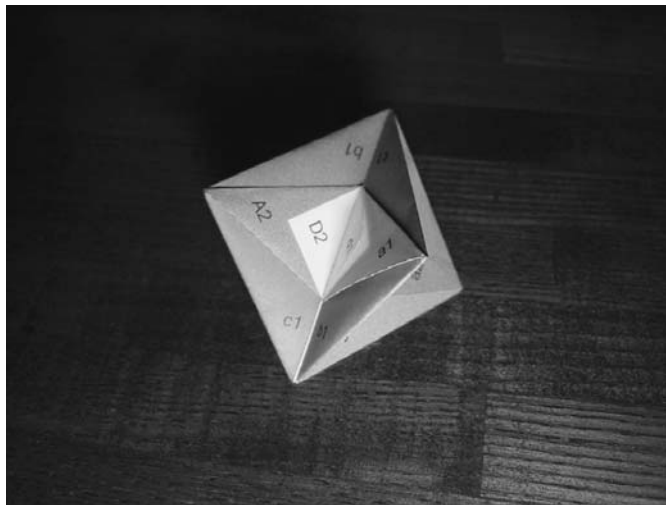


Fig. 2 One-piece “Fukigoma” for experiment of additive color mixture.

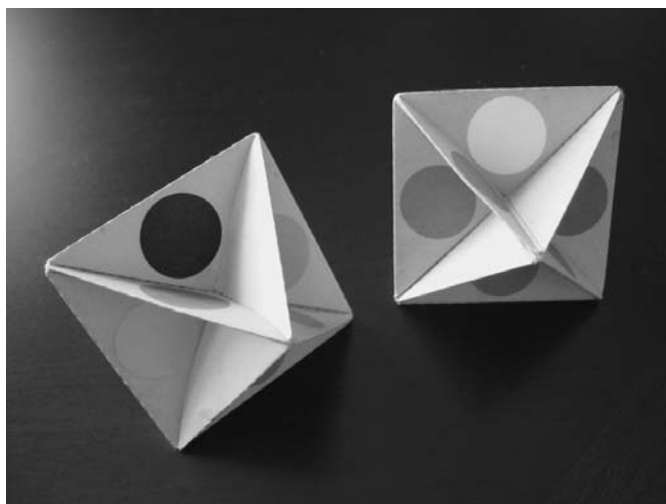


Fig. 3 Six-piece “Fukigoma” for experiment of additive color mixture.

成し、色の変化を楽しむこともされている。ここでは、紙のみでできるという非常に手軽さに着目し、この「ふきごま」を混色実現のための回転体として用いることとした。「ふきごま」には少なくとも2種類があり、一方は、Fig. 2にあるように一枚の折り紙からなるもので本来の折り紙細工、もう一方はFig. 3のように6枚の折り紙を組み合わせるタイプでこちらは本来の折り紙とは多少趣を異にするものである。

「ふきごま」のうち前者の1ピースでできる「ふきごま」は観察面として利用できる面に折り目と紙の角が現れる点で、やや難点がある。後者の6ピースの「ふきごま」は、観察面と垂直な隔壁が存在する点が難点であるが、これが観察面相互の角度をほぼ直角に保持し、強度の増加に役立つと考えられる。そこでまず、後者の6ピースの「ふきごま」に関してその作成方法を検討する。

まず大きさであるが、A4サイズの下紙に何組かの印刷が可能であること。大きすぎると回転の負担が増すことから1辺の長さが6cmの正方形の折り紙をよこ方向に3枚、たて方向に2枚並べ、さらにこれをたて方向に2組分並べ、全体で12枚の折り紙を作成することとした。こうして得られるこまの一辺は4.24cm、全体の観察面最大視野面積は、 18cm^2 となる。ここでは、観察面全体を試験色で塗りつぶすことも可能であるが、視感色の特定を容易にするためにグレーの背景に円形の図として試験色で着色した視標を配置する方式にし、大きさは隔壁を避けて可能な限り大きな直径15mmとした。これにより、ひとつのこまで4組の混色を同時に行うことができる。観察面はこまが 90° (0.5π radian) 回転するごとに順次入れ替わるので、一組で最大4色の混色が可能である。Fig. 4にこまひとつ分の図取りを行った例を示した。この用紙を用いてできた完成品が、Fig. 3に示されたものである。「ふきごま」の作成の際には、この用紙を✂のしるしにしたがって裁断し、6枚のピースを得、次にFig. 5のように各ピースを折り曲げる。さらに、Fig. 6のように各ピースの対角線上の角を一組として考え、一方の組が外側、他方の組が内側になるように順次これらを組み合わせて完成させる。なお、この際の組み合わせ方にはいくつかの可能性がある、不用意に組み立てると期待される混色の効果が得られないこまができ

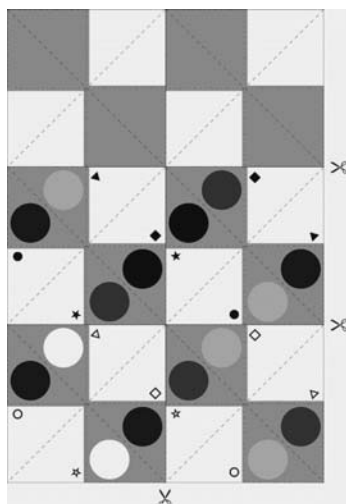


Fig. 4 Example of lay out of the “Fukigoma” (6-piece).

る。そこで Fig. 4 に示したものでは、設計した色の組み合わせや隔壁の構成を確実に得るため、○、■などのしるしを付け、これらを目安にピースを組み上げることを考えた。

一方、1 ピースの「ふきごま」については、Fig. 7 のような折り方が紹介されている。先に述べたように、このこまの場合は観察面に折り目や折り紙の端、角が現れる。そこでこれらを試験色の境界とし、ひとつの直角三角形の観察面を 4 区画に分割し、一度に 8 組の混色を行うことができるこまを考案した。この図の一例は Fig. 8 のようなものとなる。この場合もこまが 90° 回転するごとに観察面が順次入れ替わるので、一組で最大 4 色の混色が可能である。なお、ここでも A4 サイズの用紙に複数個の印刷を想定し、また回転の容易さを考慮して、折り紙の大きさを一辺 14cm とした。折り上がり時にはこのこまの一辺は 4.95cm、観察面最大視野面積は、計算上 24.5cm^2 となる。



Fig. 5 Making of the “Fukigoma” (6-piece, Step 1).



Fig. 6 Making of the “Fukigoma” (6-piece, Step 2).

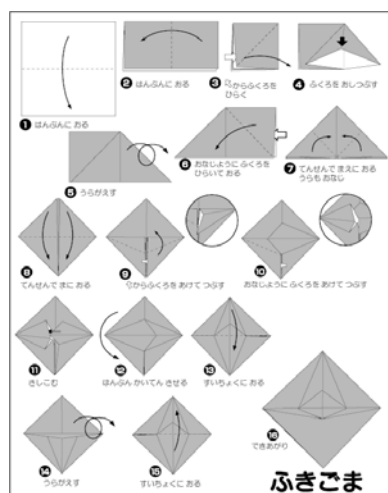


Fig. 7 Making of the “Fukigoma” (1-piece).³⁾

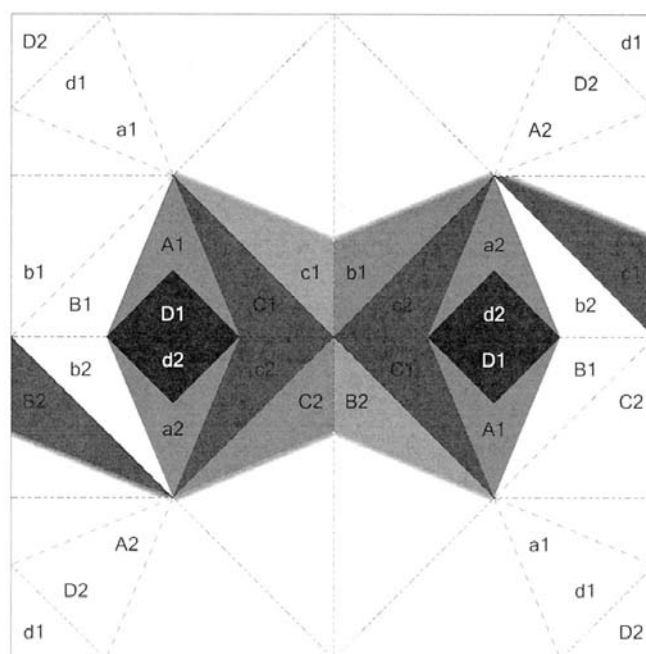


Fig. 8 Example of lay out of the “Fukigoma” (1-piece).

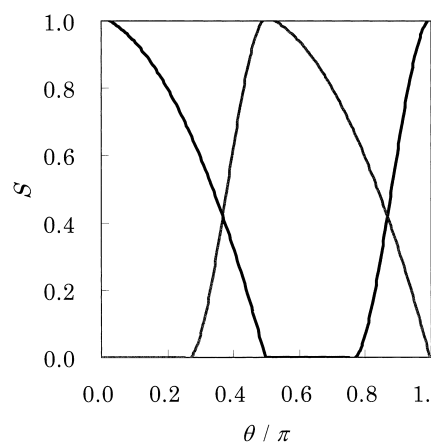


Fig. 9 Appearances of the test color with top rotation.

4. 「ふきごま」の観察

今回例示した 6 ピースの「ふきごま」では、こまが 90°回転するごとに試験色が入れ替わり 180°回転すると再びもとの試験色が現れるように、2 箇所ずつ同じ試験色を配するようにした。これにより回転数の不足を補いながら 2 色 4 組の混色を体験できることになる。代表的な色の組み合わせとしては、たとえば無彩色の白 - 黒、加法混色の三原色の組み合わせである、赤 - 緑、緑 - 青（紫）、青 - 赤が考えられる。実際にこれらを試験色として観察した結果は、論理的に導かれる通りで、灰、黄、青緑、赤紫の視感色が得られ、また明度は小さく感じられ、体験学習には十分な機能を果たすことが確認できた。特に、赤 - 緑の混色で黄の色相色を得られる意義は大きく、同時に、一般的な加法混色、すなわち同時加法混色の原理の理解にもつなげることが可能と考えられる。

一方、欠点としては、回転軸が視軸に対して垂直であるためこまの回転により観察面、およびその上に配置された視標の面積が変動することが挙げられる。そこでこの観察視標の面積に関して検討を行う。視標の最大面積、すなわち $15^2 \pi \text{ cm}^2$ 、との比で表した相対的な視標面積 S は、こまの回転に伴って Fig. 9 に示すように変化する。ここには、180°、2 色分のデータを示したが、面積変化が曲線で表されること、 $0.25 \pi < \theta < 0.5 \pi$ 、 $0.75 \pi < \theta < \pi$ の区間では 2 色が同時に観察されることなどが特徴的である。また、式で表すとこの面積は次のような変化をする。

① $0 \leq \theta < 0.5 \pi$ のとき

$$S = -3.28635 \theta^2 - 0.356825 \theta + 1$$

② $0.5 \pi \leq \theta < 0.75 \pi$ のとき

$$S = 0$$

③ $0.75 \pi \leq \theta < \pi$ のとき

$$S = -145.91 \theta_1^2 + 56.963 \theta_1 + 1.0992$$

$$\text{ただし、} \theta_1 = \theta - 0.75 \pi$$

さらに、今回の場合には、単に面積だけでなくその位置も重要であると考えられる。そこで、Fig. 10 に示すように、回転角度 $0 \sim \pi$ の間を 32 等分し、各回転角度で観察される視標の形状を重ね合わせることで視覚的な効果を確認した。結果としては、視標のシルエットが円形として比較的是っきりと認識され、面積や位置の変動が、混色の確認には大きく影響しないことが確認できた。また、今回のような回転体の場合には背景となる部分がこまの回転にともなって視標の上部を通過し、視標の観察を妨害することも懸念される。そこで、背景の移動に関しても、先の方法と同様にシルエットで確認することとした。結果は、Fig. 11 に示すように、円形視標の形状とほぼ同形状の空隙が認められ、ここでも混色の確認には大きく影響しないことが確認できた。

また、観察時の不安定要素としては、回転に呼吸を利用するため長時間の回転を得ることが難しく、また繰り返し回転させると相当の疲労を伴う場合があることなどもあげられる。ただし、呼吸の速度は、意外に大きく通常の呼吸時でも $5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 程度といわれており、直径 6 cm のこま

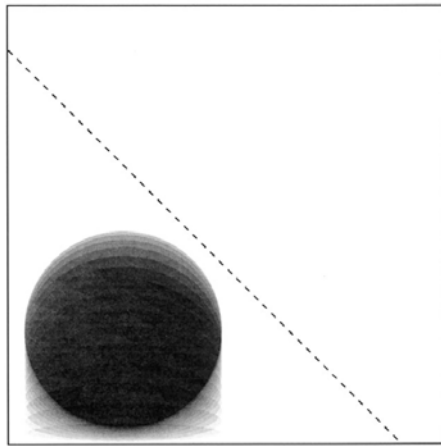


Fig. 10 Appearance of the colored circle. ($\theta ; 0 - \pi$)

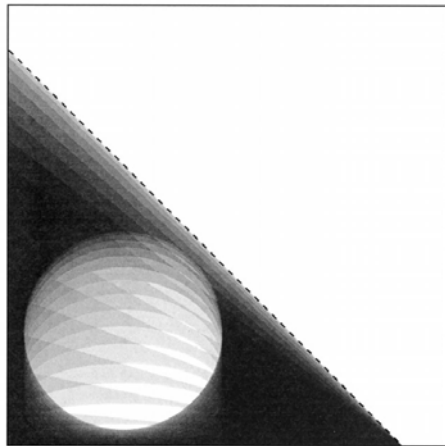


Fig. 11 Appearance of the back-ground. ($\theta ; 0 - \pi$)

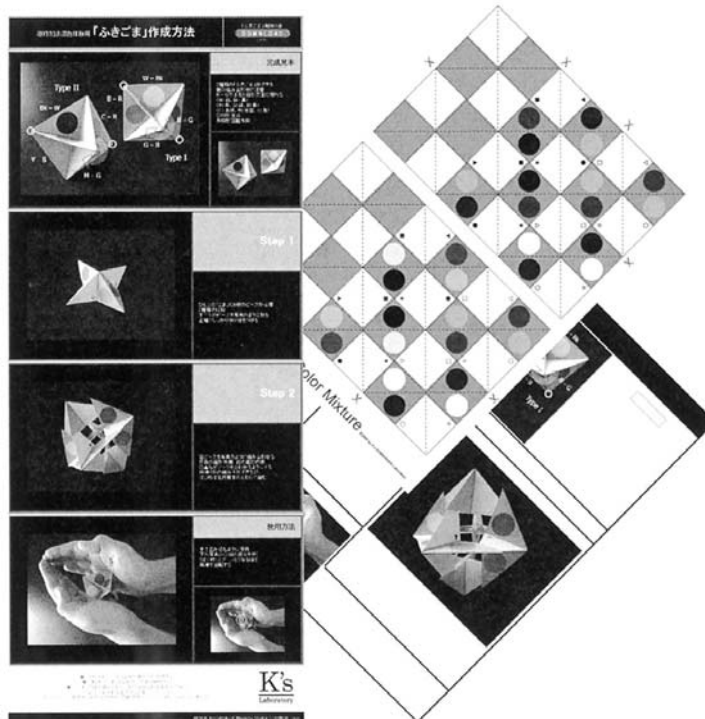


Fig. 12 “Fukigoma” as the teaching material and the WEB page.

であれば一秒当たり二十数回は優に回転することになるし、実際には強く吹き付ける場合が多いので、持続性にさえ目をつぶれば十分な回転数が得られるものと考えられる。ただし、一般的な表面色観察時の留意事項に加え、電源の周波数特性による光源機器の明滅がこの回転と同期すると非常に大きな誤差要因となる可能性があるため注意が必要である。

5. おわりに

色彩関連の体験的学習に対する今後の需要を見越し、科目の内容についての検討や、その内容に応じた教材開発を行うことが本研究の目的である。本稿では、教材開発活動の一環として取り組んだ継時加法混色体験用「ふきごま」についてまとめたが、これについては今後さらに定量的な検討が必要であると考えられる。ただし、定性的には良好な結果が得られ、体験学習には十分な機能を果たすことが確認できた。なお今回は、2色の混色について確認を行うにとどまったが、さらに多色の混色や視標形状の変化など多様化をはかることも可能であると考えている。

一方、色彩に関する体験的学習に関する部分では、当然今回の検討だけでは不十分であるが、これを端緒としてできるだけ多くの学習内容を計画し、またさまざまな教材の開発を行っていくこととしたい。

なお、今回の研究成果である継時加法混色体験用「ふきごま」は、Fig. 12に示したようにWEBページや配布用教材としての活用を目指し、すでに準備を進めている。

参考文献

1. 日本色彩学会編、「新編 色彩科学ハンドブック（第2版）」、東京大学出版会、1999
2. 山口真、「日本のおりがみ百科」、ナツメ社、1988
3. <http://www.origami-club.com/>、おりがみクラブ

