

## 色の組合せを学ぶ教材開発に向けての回転色盤の研究

内田 裕子 埼玉大学教育学部美術講座  
大岩 幸太郎 大分大学教育学部

キーワード：回転色盤、調和色、混色、教材、知識

### 1. はじめに

2016年8月に、中央教育審議会より、「次期学習指導要領に向けた審議のまとめ（素案）のポイント」が示された<sup>1)</sup>。その中では、育成すべき資質・能力の柱の1つに「生きて働く知識・技能の習得」を掲げ、各教科では「学習者自身が知識等を構造化できるような学習過程」を目指し、そのために「これからの時代に求められる知識や力とは何かを明確にし、教育目標に盛り込む」必要性を挙げている。これを受け、図画工作科や美術科の担当教員からは、学習者が習得する知識が何かについて戸惑う声が聞かれるのではないかと危惧される。何故なら、これまでの学習指導要領の改訂においては、改訂の度に、図画工作科や美術科で求められる知識が軽減される経緯を辿って来たからである。

実際、1947〔昭和22〕年、初めての学習指導要領が作成された際には夥しい分量の記述があった色や色彩の知識が、1977〔昭和52〕年改訂学習指導要領では激減している。更に、続く1989〔平成元〕年改訂以後の小学校学習指導要領では、色や色彩に関する知識や技法を示す言葉は無くなり、代わって【好きな色、色の特徴や美しさ、色の暖かい寒い・明るい暗い・強い弱い、感覚を通して色をとらえる、色の感じ】等の主観を軸とした表現が挙げられる様になる。特に、色や色彩の知識や技法に関する言葉が小学校学習指導要領に最後に挙げられたのは、1977〔昭和52〕年改訂版での「重色」及び「混色」であり、中学校学習指導要領では1989〔平成元〕年版の「配色」であった<sup>1)</sup>。

こうした図画工作科や美術科に関する学習指導要領の変遷を促す要因を探ってみると、1947〔昭和22〕年の最初の学習指導要領に色や色彩に関する知識や技法を示す言葉が多く挙げられていたのは、その作成に携わった山形寛の『日本美術教育史』<sup>2)</sup>や、葉山正行の「昭和22年版『学習指導要領』図画工作編〔試案〕の作成をめぐっての一考察」<sup>3)</sup>に拠れば、アメリカのバージニア・プラン<sup>2)</sup>にある経験主義教育思想に基づいた経験即ち「生活」学習を重視し、生活との関連の深さや生活の美化を重視したことから、実用性の高い「色彩」を単元に挙げ、知識や基礎的技能の修得を目指したためと言える。また、1989〔平成元〕年以後の図画工作科や美術科に関する学習指導要領の改訂の要因は、次世代を生きる子どもたちに対し、豊かな感性を備え育むことが出来る能力を涵養することが一層重視されたからと判断される。

そこで、次期学習指導要領に向けた審議のまとめのポイントで示されている知識や力とは何かについて、図画工作科や美術科教育における知識とは何か、どうあるべきか等を改めて検討することにした。

その検討を進めるための視点を初めに述べる。筆者等は色の組合せを学ぶ教材開発に向けた回転色盤に必要な理論的調査を行っていたところ、回転色盤の原理や仕様は元より、開発者の目的

や思想を知ることが出来、これ迄図画工作科や美術科では接する機会がなかった知識を得る経験をした。このことを図画工作科及び美術科において習得する知識が何かを考える手掛かりとし、次期学習指導要領のポイントに呼応する知識とは何かを検討するために、本論文に着手した。

本論文の構成は、先ず、回転色盤の開発者として知られる3人 {オストワルト [Friedrich Wilhelm Ostwald, 1853-1932], ブラッドリー [Milton Bradley, 1836-1911], マクスウェル [James Clerk Maxwell, 1831-1879]} を取り上げ、次いで、その他の回転色盤の仕組みや目的等について記す。最後に、回転色盤の調査結果と調査の過程で明らかになった「知識」に基づき、次期学習指導要領に掲げられる「生きて働く知識」が何かについて考察を加える。

## 2. 回転色盤を作った3人

### 2-1 オストワルト・システム

回転色盤とは混色を学ぶ装置である。円盤に複数の色を載せ、回転すると混色が見える<sup>3)</sup>。この回転色盤に関する文章が、1927年に日本標準色協会〔現・日本色彩研究所〕を創立した和田三造の次の文章に見られる。

〔色の〕分類法は古來數多の學者により種々なるシステムが考案されております。その内で獨逸のウキルヘルム・オストワルドのシステムが一番簡明であるといふことになりましてこの方法を採用したのであります。〔中略〕1916年に發表されました色彩教規は色彩といふ漠然たる量を精密に測定した色彩學上に一時期を劃したものとされております。氏の説の骨子とするところは白黒の色を重要なる色であると斷定したところにあります。此の白から黒に至りまする灰色の段階を Unbunten Farben〔無彩色〕と稱へ他のスペクトルに分解された色を Bunten Farben〔有彩色〕と名づけまして、あらゆる色といふ色は凡て Bunten Farben + Unbunten Farben であるといふのであります。これ以外に色はないといふのであります。〔中略〕オストワルドはスペクトルの兩端を續けて色環を造り黄色を基準として色環を百に割りつけました。之により各原色は番號で其位置を示すことが出来ます。次に白より黒に至るまで斯様に數多の段階を造ります。このグレーの段階を百分された原色の一つに掛け合せますと一つの原色から斯様に澤山の組合せが出来ます。この組合せは原色の一つ一つに及ぼしてゆくことが出来ます。斯様に致しましてこの分類法によりますとあらゆる色は符號と番號により其位置度合を正確に現はすことが出来るのであります。この分類法により五百色に對して、順序を正確に付けることが出来ました〔原文のまま〕<sup>4)</sup>。

色の分類法である上記「ウキルヘルム・オストワルドのシステム」では、各原色を符合と番号によって正確に表すことが出来、これは今日用いられているオストワルト表色系〔Ostwald System〕を指している。この簡便な色の分類法に基づくオストワルト表色系は広く普及し、1930年代のドイツでは、ペリカン社製の水彩絵具の標準色に採用され、1940年代後半のアメリカでは、適切な組合せの色の服を選ぶため主婦や服飾業者の多くに利用された色の回転色盤〔a color wheel〕が、オストワルト表色系に基づいて製作された<sup>5)</sup>。

オストワルト自身は、「回転色盤〔Die Drehscheibe〕」の図版が掲載されている著書の『Einführung in die Farbenlehre〔色彩理論入門〕』に、回転色盤について次の様に記している<sup>4)</sup>。

〔回転する車輪にスポークが目視出来ないことを確認する〕その実験は、様々な目的に応じて回転速度が十分に得られる小型の電気モーターを用いることで非常に簡単に実現できる。まず、小さく軽い円盤を軸に差し込む。次に、この軸に対して硬い紙に上手に穴を開けたカラーディスクを押し込み、その上に穴を開けたコルクを使って塞ぐ。更に、黒と白の扇型を円盤ディスクに塗るか糊付けし、その円盤を回転させるならば混合した色を見事に観察することが出来る。特に、白と黒が等しい面積からなる混合した灰色が一緒になった時が一際明るいことが分かるだろう〔引用者訳〕<sup>6</sup>。

## 2-2 ミルトン・ブラッドリーの事業

現在の大学生の多くは、ミルトン・ブラッドリーが考案した「人生ゲーム〔the Checkered Game of Life〕〔1860年〕や、彼の名を冠する会社が発売した「ツイスター〔Twister〕〔1966年〕を知っているであろうが、ミルトン・ブラッドリー社が米国で最も古いゲーム会社で、この会社がゲームを作る様になったきっかけである、次の様な興味深いエピソードは知らないであろう。

ブラッドリーは当初、製図工の技術を身に付け、Wason Manufacturing Companyで機関車や鉄道車両の線路の配線図の製図をしていたが、その会社で携わった、豪華車両の設計のためのカラーリトグラフ〔彩色石版画〕の技術を手掛かりに、リトグラフ製造会社を創設した。そこで共和党の大統領候補者であった若きリンカーンの肖像を製造したのだが、その肖像はリンカーンの象徴となる「髭」が無いデザインであったことから、当初ベストセラーであったにも拘らず時代遅れの商品となり、会社は大きな損害を被る。ここで不振を挽回したのが、肖像の発売以前、ブラッドリーが代理店に売っていた「人生ゲーム」<sup>5</sup>のアイデアであった。この経験から、ブラッドリーは会社の将来はゲームにあると確信したと言う<sup>7</sup>。

日本では今年〔2016年〕4月、8年振りにリニューアルした「人生ゲーム」が発売されたが、そのゲームには、今日の時代を反映し、かつては無かった職業が追加され、現代社会を表すコピーがマス目に登場する等、形を変えながら販売が続いている。実は、「人生ゲーム」は、ブラッドリーの信仰に基づいており、善行を積み重ねることでポイントを得ることは「美德を奨励」することに通じ、その意味で「高度に道徳的なゲーム」であった。そのため、ゲームの特許申請書<sup>6</sup>には「若者の心に美德と悪徳の道徳的原則を強く認識させることを意図する」と書かれていたと言う。このことは、彼の創設したゲーム・メーカー「ミルトン・ブラッドリー〔ブラッドレー〕社」が、フレーベル〔Friedrich Fröbel, 1782-1852〕の「恩物」やクレヨン<sup>8</sup>等の教具の発売に関わり、幼稚園教育に関するパンフレットや雑誌を発行する等、フレーベル式幼稚園教育の推進に努めたことと共に、ブラッドリーが教育に関心を寄せていたことを示す好例と捉えられる。

ブラッドリーの教育への関心の高さを示すものに、色彩に関する4冊の著書がある<sup>7</sup>。その中の*Color in the Kindergarten*〔1893年〕では、フレーベルの「恩物」にも関連する6色の標準色とその補色を紹介しているが、その学習を支援するため、prism〔三稜鏡〕や色紙、color wheels〔回転色盤〕の使用に力を入れ、幼稚園で子どもたちが色を学習する際の必需品であるクレヨンやインク用の色画用紙等の開発を行った<sup>9</sup>。ブラッドリーが着色製図の技術を有していたことが影響してか、彼の色彩教育に関する著書の記述は詳しく、*Elementary Color*〔1895年〕の巻頭カラーページには「MINIATURE COLOR CHARTS」が挙げられ、次節で述べる通り、マクスウェルの回転色盤の解説やブラッドリー式色彩指導の項が設けられている。取分け、回転色盤については

大分のページが使用されている外、巻末には著書中の各色彩学習用具価格表が掲載され、著書はこれらの学習用具の使用解説本とも捉えられる<sup>10</sup>。

ブラッドリーが販売を行った「恩物」は、日本でも幼稚園教育の普及と共に知られる様になったが、日本では1876〔明治9〕年1月に文部省から発行された『幼稚園〔をさなごのその〕上』〔桑田親五訳〕や1977〔明治10〕年7月に東京女子師範学校から刊行された『幼稚園記 一・二・三』〔ニューヨーク師範学校長ドゥアイ著、岡信三訳〕で、フレーベル主義保育と共に紹介された<sup>11</sup>。その紹介に拠ると、「幼稚園についてはほとんど予備知識のない受講生を相手に講義する場合、幼稚園とは何かという『そもそも論』から始めるのが普通であるが、それらは『恩物大意』の冒頭で語っている<sup>12</sup>とされ、その「恩物大意」は、各恩物活動の意義を示すことを目的とすることから<sup>13</sup>、日本での初期の幼稚園教育は、「恩物」による教育と言っても過言では無い。

しかも、保姆養成機関で行われた「手技製作」は、「恩物」の中身を充実させることに役立っている<sup>14</sup>とされ、また幼稚園では、「工作、工芸、手工」を意味する「Beschäftigung / occupation〔事業教科〕」が設けられており、これらの教科は、野尻精一と後藤牧太がスウェーデンのネースで学んだ「slöjd〔スロイド〕」に基づいて1886〔明治19〕年に日本で取り入れられた「手工科」より以前に日本で行われた工作教育と言える。その上、スロイドの小学校での教科化に尽力したシュグネウス〔Uno Cygnaeus, 1810-1888〕は、フレーベルの書物を読み、また、「フレーベルの教えを汲む幼稚園での『手仕事の助けを借りて（将来の）職人を作る教育活動』を見て、それまで温めてきた手工の学校教育への応用の可能性を確信した<sup>15</sup>とされる。

ブラッドリーのpaper diskの詰め合わせには、{red, orange, yellow, green, blue, violet, white, black}の色が入っており、円グラフの様に各色を組み合わせて回転することで、混色の割合を簡単に定量化出来た。そのため「驚くべきことに、多くの人類学者がこの玩具を科学的根拠と迄は行かなくても極めて実用的な研究調査機器として使用した<sup>16</sup>と言われ、可搬性は元より、階調が定量化出来る点で、Broca's tableやLuschan's tablets等の他のカラースケールに比べて、多様で正確な結果が得られたとされた。

科学調査機器としては当初、小動物や鳥類の色の研究において注目され、提唱者は1890年代、ハーバード大学で動物学を教えていた生物学者〔後に優生学〕のダベンポート〔Charles Benedict Davenport, 1866-1944〕であった。初期の例は1898年に行われた鴉の分類に関する実験であり、微量の青、赤、黄を検出すると共に、黒や黒性等の程度を測定した。ところが、優生学理論とメンデルの法則に対する疑念から、徐々に彼の関心は人間の繁殖に移り、1904年には、カーネギー協会が優生学研究のため、膨大な記録を蓄積する目的で創設した「the Station for Experimental Evolution〔実験的進化研究所〕<sup>17</sup>のdirector〔所長〕となった。

ダベンポートはその研究所で人間の交配について明らかにするため、皮膚の色素について調査をするが、その際ブラッドリーのcolor topを用いた。調査法は、机の上に置かれた上肢の近くでcolor topを回転させ、上肢の色と同じ色になるまで{黒(N), 黄色(Y), 赤(R), 白(W)}の組合せを試みる。当時、他にも皮膚の色を見るカラーチャートはあったが、それらは被験者の肌の色を実験者の白い肌の色と比較する方法であり、被験者には反感を抱かせるものであったと言う<sup>18</sup>。なお、測定のためにはcolor topの回転速度が最高速度であることが重要であり、僅かな緩みが色の一致を困難にし、その結果、記録も信用出来ないものとなる<sup>8)</sup>ことが当時から分かっていた<sup>19</sup>。

ブラッドリーの回転色盤は、実験機器のカタログ〔*Psychological Laboratory of Harvard*

University] に、視覚に関する装置として掲載されている<sup>20</sup>。ブラッドリー社の回転色盤は「70. Color-mixer, adjustable under rotation. After Pillsbury, by Bradley, Springfield」「74. Two color-wheels, with disks」であるが、このカタログにはその他、ニュートンの「75. Newton's disk, 80cm. In diameter」、ヴント〔Wilhelm Maximilian Wundt, 1832-1920〕の「Large color-mixer for four disks, two upon each spindle」、ヘリング〔Karl Ewald Konstantin Hering, 1834-1918〕の「68. Large color-mixer, with horizontal rotation disks, connected with foot-machine. Sixdozen colored-paper disks」「69. Apparatus for color-sense of the eccentric parts of retina, to be attached to Hering's foot-machine」「76. Apparatus for mixing colors by mirrors and colored glasses」「79. Simultaneous contrast apparatus, with two prisms for binocular or monocular investigation」「80. Simultaneous contrast apparatus, with colored glasses」等の回転色盤が掲載され、いずれも当時の相場で\$7～\$35程度の価格が付されている。カタログはモノクロであるが、その中には、幾つか実物写真が掲載されており<sup>9)</sup>、それを見ると、ブラッドリーの著書〔*Elementary Color*〕に掲載されている図と全く同じ形状の器具や旋回部分〔弾み車〕のデザイン等を見ることが出来る<sup>21</sup>。

以上見た通り、ブラッドリーの回転色盤は遊びのために使用されるのみならず、科学研究にも使用され、市場に流布したことが分かる。

### 2-3 マクスウェル・ディスク

混色回転盤の製造販売で知られるドイツの心理学実験機器製造会社チンメルマン〔Zimmermann〕のカタログには、多くの混色回転盤が挙げられている<sup>10)</sup>。当時のカタログに留まらず、チンメルマン社の商品の解説は現在、「University of Toronto Scientific Instruments Collection」のオンライン展示サイトで見ることが出来るが<sup>22)</sup>、このサイトの解説に拠れば、チンメルマン社製「Colour Variator」について、スコットランドの物理学者マクスウェルが1855年に実証した眼による色彩混合を実現する混色器〔colour mixer〕と紹介されている。即ち、「Colour Variator」は、数色の原色の割合を調整して混色することで色相を示したマクスウェルの実証法に基づく混色器ということになる<sup>11)</sup>。

当時のカタログを見ると、チンメルマン社に限らず他社でも混色回転盤が作られていたことが確認出来る。例えば、「Von Nardroff Color Apparatus」<sup>23)</sup>は、取り外し式の6色〔orange, green, blue, red, pink, dark blue〕のカラーフィルタの中3色を装着し、それに平行光を当て混合して単光とする装置であり、その他にも、「Marietta Color Analyzer」「Differential Color Rotator」「Simple Color Rotator」「Simultaneous Induction Disks」等を見付けることが出来る。他方、日本でも作られた同種の装置は山越工作所によって製作され、「山越工作所実験心理学生理学器械目録 第2版」には「混色器、色立体」が挙げられているが、この会社では、ドイツの心理学実験機器製造会社のチンメルマンのカタログに挙げられている装置の複製を作っていたとされる<sup>24)</sup>。

なお、近年の論文にも混色回転盤に関する研究は見られ、Kenneth Brecherの論文〔Topology: A Torque about Tops〕では、回転盤に新しい動きの種類を導入を提案している。そこでは、回転独楽の物理的な運動としては、歳差運動〔precess〕、転頭運動〔nutate〕、各種の揺れ〔shake, rattle, roll〕等が既に認められているが、新たに回転〔spin〕とぐらつき〔wobble〕を併せ持つ「spobbling」と呼ばれる動きの種類を回転盤を導入することを提案する。更に、同論文では、ニュートン〔Isaac Newton, 1643-1727〕、マクスウェル、アインシュタイン〔Albert Einstein,

1879-1955]等の物理学者たちが独楽に関心を持ったのは、こうした独楽の複雑な運動に魅せられてのこととした上で、回転独楽の歴史も述べていて、この論文の図版には、復刻版のニュートンの「color mixing wheel」、マクスウェルの「color mixing top」〔1855年〕及び「dynamical top」〔1858年〕、バウハウスの「Optical Color-Mixer」〔1924年〕等が引用されていた<sup>25</sup>。

マクスウェルの回転色盤については、東京美術学校で和田三造から指導を受けた大智浩が「色彩学の回顧」の論文において触れ、「マクスウェルは、色を合せて灰色になるような色彩を決定するための回転盤を発明した。これより赤と緑の二色の混合により黄色を生ずることを知り、赤神経と緑神経の同時刺激によって黄色を感じないことを提唱した。この時に感ずる黄色は、赤、緑、の二神経の興奮により、白色が感ぜられるので、スペクトルの中の黄より多少淡く見えると説明している。また、三神経の同時興奮は白を見せ、赤と緑の和で生じた黄に青を加えても色となることを附加した〔原文のまま〕<sup>26</sup>と述べている。

更に、ブラッドリーは、先述の著書にマクスウェルの回転色盤について分かり易く解説している。ブラッドリーに拠れば、彼が紹介するのはマクスウェルの回転色盤についての周知の原理であると言い、以下に概説する様な内容が記されている。

色盤を回転させて混色する原理は、子どもも良く知る、灯の点いた棒を素早く振り回したらその跡が光の輪となる様な、「残像〔retention of vision〕」と呼ばれる目の性質に基づく現象に拠っている。色盤の表面は、1/4の橙色と3/4の赤色で覆われ、急速に回転させると、円周を百等分すれば「赤75」という角度測定値に比例した橙と赤の混合された色になる。マクスウェルはこの実験装置を用いている中に、2枚の色盤に放射線状にスリットを入れることを思い付いたが、これはマクスウェル・ディスクと呼ばれている。また、色味は色光を真似、6色を{R〔red〕, O〔orange〕, Y〔yellow〕, G〔green〕, B〔blue〕, V〔violet〕}の様に、各々頭文字の記号で表示した。更に、色材が光と陰によって明度の差を作り出す様に、白と黒の色盤を用いて明暗を作り出すことにした。白と黒は、Whiteの「W」と、黒を表すラテン語のNigerの「N」を用いて示す<sup>12)</sup>。

以上の様なマクスウェルの回転色盤の原理を元にブラッドリーが開発したのは、色彩学習のためのブラッドリー・システムである。このシステムには5つの内容{色光標準色、色光標準色に基づく色材標準色、色材標準色及び白黒によるマクスウェルの回転盤、標準色及び色盤による配合に基づく色名集、標準色と配合色の色紙}が入っており、それらの中で重要なのは、色名を測定値によって確定するための全8色の回転色盤から成るマクスウェルの回転色盤〔Maxwell color disks〕で、色紙は1次色を学習するために用いるとしている。また、或る色とその補色を同量で混ぜた際には白色光を生成し、ディスクで同じ面積に配色して回転させた際にはニュートラルグレーを表示することが挙げられている。なお、ブラッドリーの著書にはマクスウェルの回転色盤の他に独楽の絵図が描かれており、これと同じ絵図はマクスウェルの著書にも掲載されている<sup>13)</sup>。

マクスウェルの最大の功績は、ヤング・ヘルムホルツの3色{red, green, blue/violet}説〔Young-Helmholtz theory, 1802年〕を実証したこととされる<sup>27</sup>。と言うのは、光は3原色により合成されるとする従来の考えに対し、ヤングは眼に3原色それぞれに感応する受容器があるとして、物理学ではなく生理学に基づく究明を行い、その結果、{L, M, S}の「錐体視細胞」があることを明らかにしたが、これを裏付ける実験をマクスウェルが行ったためである。

マクスウェルが実証した白色光の生成に注目し、この考えを美術表現に適用したのはフォリション〔Francois Forichon, 1865-不明〕である。彼は、「白色光を生み出す色彩比率こそが理想的な色彩調和であると考え、その比率を美術に応用することで観者の視覚に充足感を与える作品を制

作できると主張」し、更に、反対色の補色以外の白色光を生み出す補色を見付けるため、「人間の視覚内でおこる混色、いわゆる『視覚混合』を行うために、絵の具を塗った円盤を回転させるマクスウェルの実験法に従い、白色光を生み出す補色的色彩比率を探った」とされる<sup>28</sup>。

なお、1980年代迄実際に使用されていた日本色彩株式会社製「文部省教材基準品 電動混色器」は、マクスウェルの回転色盤の考えに基づき作成されたと言う。この装置には、17枚 {12色, 黒, 3段階の灰色, 白} と特殊な形1枚の合計18枚の円盤があり、円盤の半径に一箇所空いている切り込みを差し込み、色盤を組み合わせてレコード盤の様な台に載せ、回転することで混色を作った。

この装置がマクスウェルの回転色盤の考えに基づくということは、先に引用した和田のオストワルト表色系に関する文に続く、次の文章からも推測出来る。

次は撰定された色の保存であります。これは布や紙や種々なる色片を統一しまして、最も化学的變化の少ない保存に耐へる顔料で臺本を作りましたが之は絶體のものではありませんので、一方マックスウェルの獨樂を作りましてこれに獨逸チンメルマン會社の標準色紙を種々に組合せて此の獨樂に装置致しましてモーターにより回転し臺本の色を得た所で其割合を記録いたしました。この記録の通り此の色紙を組合せて回転すれば何年後にでも所要の色を得るのであります。これは簡単且廉價に出來ますがフォトメーターより正確さがをとるのであります〔原文のまま〕<sup>4</sup>。

当時用いられていた「文部省教材基準品 電動混色器」の色盤の円周には100の目盛があり、混色の際の各色の割合が分かる仕組みになっていたが、これはマクスウェルの回転盤が、加法混色のための1次色に {Vermilion PR106 (scarlet), Emerald Green PG21 (green), Ultramarine Blue PB29 (violet)} の3色を用い、円周は36度ずつ10等分にする様になっていることに呼応する。更に、マクスウェルの実験では、回転盤を回転して出来た色をマクスウェルの三角形 [Maxwell triangle] に配置したが、この三角形には、3原色が変更されることで変更を余儀なくされたり、色によっては係数が必要である等、全ての色を示すことが出来なかつたりする問題点があったため、後の研究者によって修正が加えられた<sup>29</sup>。

1861年、世界で最初のカラー写真を撮影したのはマクスウェルである。彼の祖国スコットランドのタータンリボンを撮影したその写真は、National Geographic [ナショナル ジオグラフィック] のサイトで見る事が出来る<sup>30</sup>。また、回転色盤を持ったマクスウェルの肖像写真は良く知られる所であるが、2008年に、エジンバラに完成したマクスウェルの肖像では、回転色盤を持つ姿の銅像として表されている<sup>31</sup>。

### 3. その他の回転色盤

回転色盤については、「ゲーテにしても、ヘリングやオストワルトにしても、ドイツの色彩学者たちは、混色の実験にほとんど塗りわけた回転円盤の方法を使用しました」<sup>32</sup>とある様に、ドイツのみならず他国でも、色彩学者に限らず使用され開発され普及した。

例えば、バウハウスで製作されたカラー独楽 [Optischer Farbmischer]<sup>33</sup>、デュシャン [Marcel Duchamp, 1887-1968] が映画『アネミック・シネマ [Anémic Cinéma]』 [1926年]<sup>14</sup> の撮影に使用した直径20cmのロト・レリーフ [Roto-Relief]、フェヒナー [Gustav Theodor Fechner,

1801-1887] が発見した主観色に基づく直径4cmの5つの独楽で構成されるNaef社製のOptric<sup>34</sup>、これと同様の仕組みでサイズが直径5.5cmのベンハムの独楽等、調査の範囲を広げると枚挙に遑が無い。

バウハウスの「カラー独楽」は、1924年にヒルシュフェルト＝マック [Ludwig Hirschfeld-Mack, 1893-1965]<sup>15)</sup> がデザインした直径4インチ [約10cm] の独楽に、7枚の色盤を差し込んで回転させ混色を観察する玩具として発売された。バウハウスに学んだヒルシュフェルト＝マックは、イッテン [Johannes Itten, 1888-1967] が去った後、バウハウスで色彩学を担当していた。彼の研究成果はカラーサークル [Farbenkreis] の他、アセチレンランプの交換の際に偶然発見した、透明シートの上の影が二重に写る [異なる色のランプを使用すると、暖色と寒色の影が同時に現れる] 原理を用いた、音楽を反射光に変換する楽器「カラーオルガン [color-light-music machine]」の製作や<sup>16)</sup>、光の映像と音楽を合わせた色光運動 [Farbenlichtspiele]<sup>35)</sup> の発表等に見られる。

次に述べる「カラー独楽」に付属する7つの色盤は、ゲーテ [Johann Wolfgang von Goethe, 1749-1832]、レンブラント [Rembrandt Harmenszoon van Rijn, 1606-1669]、ショーペンハウアー [Arthur Schopenhauer, 1788-1860]、ベゾルト [Johann Friedrich Wilhelm von Bezold, 1837-1907] 等の色彩論に基づいて作られ、色の組合せは {白と黒、1次色と2次色の6色、1次色から3次色迄の12色} 等で、面積は等分と比率が異なる場合があり、回転すると、混色が見える場合と灰色が見える場合がある<sup>36)</sup>。

続けて述べるのは、通称「ベンハムの独楽 [Benham's top / disk]」 [1895年] と呼ばれている人工スペクトル独楽 [Artificial Spectrum Top] である。これは、玩具メーカーのベンハム [Charles Benham, 1860-1929] が販売した独楽で、無彩色の白と黒で描かれた円盤を回転すると、本来描かれている部分で無い所に淡い色 [Fechner color / Benham subjective colors / 主観色] が生じる特徴がある。無彩色の円盤を回転させると有彩色が見える現象は、フェヒナーが1838年に発見し、「主観色」はフェヒナーが命名したと言われる<sup>17)</sup>。その様な要因は、一説には、網膜細胞の局所相互作用に拠るとされるが、現代でも光源や照度による明度と彩度の違いの解明や主観色生起の神経基盤の解明等が行われており、見える原因は特定されていない。「主観色」の特徴には、{回転に伴って生ずる同心円の「線」が着色する、円盤の回転方向を逆にすると孤の色の順序も逆になる、主観色が観察出来るためには一周期の半分ほど黒い部分を必要とする、単色光 (橙色) の照明の下でも「色 (主観色)」が観測できる}<sup>18)</sup> 等が分かっている<sup>19)</sup>。高松宮殿下記念世界文化賞を2003年 [第15回] に絵画部門で受賞したライリー [Bridget Riley, 1931-] の作品『Current』 [1964年]<sup>20)</sup> は、このフェヒナーの色の原理に基づく<sup>37)</sup>。

初期の1926年に作られたロト・レリーフは、機械による動きを導入したキネティックアートとも呼ばれ<sup>38)</sup>、回転すると、片方の目視だけでも3次元の形態が見える作品である<sup>39)</sup>。また、画像の仕掛けだけでなく、掛詞 [地口]<sup>40)</sup> が含まれ、映像と共に言葉が回転することも楽しめる。アニメック・シネマについては、次の様な解説がある。

円環状の模様を描いたディスクと、地口を螺旋状に配したディスクを交互に回転することによって構成されている。それぞれのディスクの回転時間は約30秒程度、全体で約7分の無声・白黒映像である。アニメック (anémic) がシネマ (cinéma) のアナグラムであることを示唆するタイトルに始まり、“Copyrighted by Rose Sélavy” という表示に署名 (ローズ・セラ

ヴィ)と拇印のような指紋を伴う映像で終わる。映像中で用いられる10枚のオプティカル・ディスクと9枚の地口のディスクはそれぞれ描かれた模様や配置されたテキストが異なっている<sup>41</sup>。

2種類のディスクが交互に回転するため無声映画の印象に近く、画像が回転する3次元空間には前進と後退の印象があり、地口が回転する2次元空間では回文の様に循環する印象があると言う。

ドロネー夫妻においては、妻ソニア〔Sonia Delaunay, 1885-1979〕が、自然の光の観察による『Prismes〔プリズム〕』〔1914年〕を描き、夫ロベール〔Robert Delaunay, 1885-1941〕は、『Disque simultané〔同時的ディスク〕』〔1912-3年〕等、一連の円形の色相環を描いた<sup>42</sup>。ドロネーの言う「同時的」はシュヴルール〔Michel-Eugène Chevreul, 1786-1889〕の著書『De la loi du contraste simultané des couleurs et de l'assortiment des objets colorés〔色彩の同時的対比の法則〕』〔1839年〕に基づくとされ、色彩の「同時的補色的対比」を意味する。

即ち、「たとえば、二つの色が隣りあって置かれている場合に、一方は他方の領域に自らの補色を生じさせ、このことによって、この二つの色が、離れて置かれている場合とは異なって見えるということである。〔ロベール〕ドロネーは、この色彩理論を拡大解釈し、人間の知覚する現実の全体が光から生じた色彩同士の対比によって形作られると考えるのである<sup>43</sup>。色の組合せにおいて最も影響の大きい、補色を同時に見る「同時対比」はバウハウスでも重要視され、教師のアルバース〔Josef Albers, 1888-1976〕は、色の錯覚として同時対比を説明する。

山口真美に拠れば、同時対比の様な周囲の影響を受けて色が変わって見える現象が起こる時期について、背景と比較して色を知覚する能力は生後5ヶ月頃に発達を始め、生後7ヶ月頃には成立すると理解される。また、錯視が見える時期の研究に拠れば、赤と緑は乳児でも区別出来るが、青と黄色の区別は生後4ヶ月頃に可能になり、主観的輪郭は生後8ヶ月には幾らか分かる様になるとのことである<sup>21)</sup>。ちなみに、上記の同時対比の実験に使用された図は、明暗対比の錯視を示す「ダンジョン錯視」をカラーで表した図である<sup>44</sup>。ダンジョンの錯視〔Dungeon illusion〕やムンカーの錯視〔Munker illusion〕は、背景の形が異なっても、いずれも同時対比による錯視である。ダンジョンの錯視とは、モノクロの画面で構成された2枚の図であり、1つは白地に黒の正方形が描かれ、黒い正方形の中央部分のターゲット〔8個〕が灰色になっている図、もう1つは黒地に白の正方形が描かれ、白い正方形の中央部分のターゲット〔8個〕は1つ目と同じ灰色で描かれているのに、1つ目のターゲットとは異なって見える図である<sup>45</sup>。この場合、ターゲットは同じ輝度〔luminance〕を持つにも拘らず異なって見えるという錯視が起こるが、これは無彩色の同時対比と考えることが出来る。

このような同時対比の視覚現象については、網膜の疲労と説明されることもあるが、色や明るさの恒常性として、照明光に関係なく明るさを感じる「レティネックス〔Retinex〕理論」として解釈されることもある。これは、ポラロイド社社長のランド〔Edwin Herbert Land, 1909-1991〕によって示された「Land's two-color projection〔Landの2色法〕」〔1959年〕のデモ〔原理〕を説明する次の高柳健次郎の論文から理解出来る。

Maxwellによって初めて使用された彼の赤、緑、青の三原色を使用した映写機を作り、この新装置に夢中になって、三つの映写機のフィルタを取換えたり、光を点滅して種々な実験を

行っていた。その時、彼〔Land〕は青色の映写機を消火して、赤色と緑色との映写機を点火していた。そして何気なくその緑色の映写機についていた緑色フィルタを手でつまみ上げて抜いた。

勿論、スクリーンはその瞬間に白色光で覆われて、赤色映写機の映像は洗い流されて消えてしまった。しかるに、この時、助手のMoroé Morse嬢が、彼に自分は何故画面の中に緑色は勿論、青色さえもあるように思える色彩の種々のものが見えたのかと尋ねた。しかし、Land博士はそれは単に眼の疲れによるものだと答えた。その後で、博士の“科学者としての良心”が、終日彼を悩ました。Morse嬢のいったことは、果して本当に単なる肉眼の疲れによるものか、またはもっと何かの意義深いものであるか彼は眠れなくて、ついに午前2時に起床して、再び研究室に戻り実験を行った。そして彼はこの時は、白色の投写機の光度を低下させて、赤色の映像が洗い流されないようにした。その瞬間、スクリーンには撮影の時のままの生き生きとした色彩に満ちた映像が映出された。そしてこの映像は明らかに“肉眼の疲れ”ではない正常のものである。所謂二色法の色の世界であることを知った。こうしてLand博士によって新しい二色法のカラーの原理が発見されたのである<sup>46</sup>。

栗本一郎に抛れば、色恒常性とは、「照明光のスペクトルが変化すると、その光を受けて反射している反射表面が反射・散乱する光のスペクトルも当然変化する。しかしながら、われわれは屋外や屋内、朝昼晩における太陽光など照明スペクトル環境の変化にもかかわらず、同一の物体の色が変化するような知覚を感じることはない<sup>47</sup>」と説明され、本来は異なる筈の知覚を安定させる機構と言われる。これはまた、描く際に影響を与え、例えば、色の見え〔色の絵画的な知覚 / color appearance〕を問う様な課題〔その物体を写実的に描くとするとな何色の絵の具を選ぶか?〕に対して、被験者において、「照明光の色度によって色恒常性の成立度が変化し、一般に有彩色照明の下での成立度は70～80%程度になるが、照明光が単色光（トンネル照明の低圧ナトリウムランプが好例）でなければ50%を切ることはほとんどない」という結果を生じさせる。即ち、「物体のアイデンティティあるいは属性としての色は、見た目の色とは少し違う次元の色情報」であり、そのため、下記の様な現象が生じる。

白熱電球の下で白い紙を見ると、「白い紙」だと感じる知覚と同時に「黄色みを帯びた白」という見かけの色の知覚とが存在する。「白い紙」だという知覚は物体のアイデンティティとしての知覚であり、光の当たり方の強弱によって微妙な明暗を示す絵画的な視知覚とは異なっている。この情景を写実的に描こうとした時に、白い紙の部分を黄色っぽく塗るほうがより視覚的体験に忠実だと思われる人が多いだろう。しかし、その色は電球が持っている色度から予想される色よりはるかに黄色みが少ないのも、また事実である<sup>48</sup>。

#### 4. おわりに

本論文では、色の組合せを学ぶ教材開発に寄与する研究として行った回転色盤の調査について述べた。調査の過程を振り返ると、学校教育での教科における色や色彩の授業に際しては、色を単に物理的性質や生理学的性質から説明するに留まらず、その理論の成立に影響を与えた実験や考察を示すことが必要であることが分かる。

例えば、上記のヒルシュフェルト＝マックの実験による色彩和音について知った上で、ニューヨークのSchool of Visual Arts〔SVA〕で行われている演習〔色相環上の〔正三角形、二等辺三角形、正方形、長方形〕の位置にある色で出来る調和色を色カードで作る〕<sup>49</sup>の実施を経て、バウハウスで行われた色の調和を音の調和に重ねる色彩調和の考え方の理解に至るといった授業展開が考えられる。

著者らは、以前、ルートヴィヒ財団近代美術館〔mumok〕で、ハウアー〔Josef Matthias Hauer, 1883-1959〕の作品「12ピースの色調サークル〔12-teiliger Farb-Klang-Kreis〕〔1919年〕<sup>22)</sup>を見て、イッテンに通じる作品と理解したことがあった。実際、調べると音楽家であるハウアーは絵画と色彩学を修め、ゲーテやルンゲ〔Philipp Otto Runge, 1777-1810〕、シュヴルールについて学び、イッテンとも会い、それを機に、実現はしなかったが、バウハウスのあったヴァイマルに音楽学校を開く計画があったことが分かった<sup>50</sup>。この作品が描かれた1919年は、ハウアーが12音技法〔Zwölftontechnik〕に至った年とされ、また、ハウアーの12音技法は、イッテンの12色環やそれに基づく上記の調和色の組合せの発想に影響を与えたことを示す研究もある<sup>51</sup>。その証左としては、12音技法の原型となったトロローベ理論〔Tropenlehre〕では、44のトロローベ〔Tropen〕〔1921年〕<sup>52</sup>が提案され、それを用いて作曲が行われたが、このトロローベの考え方がイッテンの色の調和の考え方に類似していることが挙げられる。イッテンの考案したDer Farbsternが「色の星」を意味し、ハウアーのトロローベがKonstellationsgruppen〔星座群〕<sup>53</sup>で示されていることも或いは関係するかと推測される。更に、こうした内容を色彩調和の指導内容に含めることは、色彩調和への理解が深まると共に、色彩調和から他の調和概念を繋ぐ媒体となり、知識の深まりと広がりをも促すことになる。

今後、学習指導要領や指導要録で「知識」の観点が重視されるとすれば、これから教員になる学生には、上記の様な深まりと広がり期待出来る知識の習得が必要になると考えられる。また、そうした知識の例の1つに挙げられるのは、〔原理（構図や様式に関する用語）：リズムと繰り返し、バランス、均衡、多様性と統一性…／要素（作品の構成要素）：形と空間、線、大きさ、色、材質感…／術語：抽象、アクリル、審美的、寓意、アププリケ、骨組、アッサンブラージュ、プロパガンダ、遠近法、肖像画、ランダム、浮き彫り、トンド…〕等、欧州の美術批評の分野に見られる用語である。

従って、次期学習指導要領に基づく教材開発においては、こうした用語が手掛かりに出来るが、先に述べた通り、図画工作科及び美術科を教える教師には、用語の意味を教えるだけでなく、美術の歴史的背景や今日的意味を理解した上で、用語同士を論理的な繋がりを持つ知識として子どもたちに指導出来ることが望ましい。

ここで、参考となる事例を述べる。現在使用されている韓国の初等学校「芸術」の教科書には、複数の学年に関係する付録が付いている。フェナキスティスコープや色相環が小学校3-4年生と5-6年生の付録にあり、色相環については色シールが用意され、空欄となっている色相環の正しい位置に色シールを貼る様になっている。フェナキスティスコープは錯視に関連して用意された付録であり、関連するページにはソーマトローブやゾートローブ、スキヤニメーションが挙げられている<sup>54</sup>。

また、国内外の美術館で発行されている子ども向け図書には、色の学習を目的にした本が多く、イギリスのテートギャラリーで開催された「EY展示 ソニア・ドロネー展〔The EY Exhibition: Sonia Delaunay〕〔2015/4/15～8/9〕<sup>55</sup>では、ポップアップ絵本*Madame Sonia*

*Delaunay*を発売した。20cm×15cmのサイズで、幼子でも持ち運びが出来る大きさである。まるでステラ〔Frank Stella, 1936-〕の作品の様に、色を扱ったソニアの作品が、本の中で立体として表現されている。

同様に、色を楽しみながら学習するポップアップ絵本も多く、例えば、*Making Colours*〔James Diaz, 2013年〕は混色を理解する本として、左右のページに1色ずつ異なる色が配され、本を開くと、両方のページから立ち上がった紙が真ん中で組み合わせさり、その部分が混色で示されている。組合せ方は色によって異なり、赤と黄色はblend〔混ぜる〕、青と黄色はbump〔衝突する〕、青と赤はfold〔混ぜ込む〕、黒と白はmerge〔溶け込ませる〕と記述され、その言葉から連想される形で、両色が混じり合う様子がグラデーションで表現されている。最後の2ページの左側には、1次色の混色により2次色が出来ることを示すスライド式の仕掛けがあり、併せて{Primary Colors→Secondary Colors}の様に、言葉が変わる仕組みになっている。

立ち上がった部分は、様々な大きさの正方形の色紙が組み立てられた形で表され、異なる色の2枚の色紙が重なる箇所には、透明水彩の原理で、混色した色が塗られている。更に、右側のページには、この本の目的とも言える「色が、どの様に混ざったり溶け合ったりして、他の色を創るのかをご覧ください!」という文章が記されている。

3番目の例として、ポップアップ絵本作家として有名なカーター〔David A. Carter, 1957-〕が作成した、赤、青、黒、黄、白をタイトルに冠するポップアップ絵本が挙げられる<sup>56</sup>。タイトルは作品と色との関係から{One Red Dot, Blue 2, 600 Black Spots, Yellow Square, White Noise}とし、赤、青、黒、黄迄は、色とりどりの仕掛けのページの中からその形を探し、白は、様々なページが表す場面での白い音を鑑賞する構成である。

以上3つの事例は、色や色を見る目の構造について考慮した教材と考えられる。フランスの教育課程では芸術及び芸術史の授業を小学校に設定していることを鑑みれば<sup>57</sup>、将来を担う子どもたちに意義ある美術教育としてあるためには、芸術や芸術史の観点と同様に、本論文で整理した様な実験等を取り入れて仕組みを理解する観点も、図画工作科や美術科の教育内容に取り入れて行く必要がある。

## 注

- 1) 2016年8月1日(月)中央教育審議会 教育課程企画特別部会(第19回)資料1.
- 2) バージニア・プランについては、1947年の「学習指導要領社会科編(試案)」の作成に関する次の文章が参考に来れる。「『社会科編』は、その作成において参考にしたというように、デューイのプラグマティズム思想にもとづく経験主義教育思想の典型としてのバージニア・プラン等に強く影響を受けており、そこで示された社会科のカリキュラム構成の基本的な枠組みも、バージニア・プラン方式、すなわちスコープ(教材ないし学習経験の範囲)を社会機能に、シーケンス(教材の配列)を児童の心身の発達段階や生活経験領域の発展系列に求めるというものであった。」〔野口学「戦後社会科の成立とその時期における社会科授業の実際」『今治明德短期大学研究紀要』29, 2005, p.72.〕
- 3) 現在ではこうした大掛かりな装置は無いにしても、「回転コマキット」〔CoLafuL〕や「回転混色独楽」〔TOCOL〕の名称で、円盤を手動で回転させて混色を学習する道具がある。
- 4) 次のサイト〔<https://archive.org/stream/einfhrungindief00ostwgoog#page/n53/mode/1up>〕のS.48に図版が掲載されている。
- 5) The Checkered Game of Lifeに類するゲームは以前からあり、「The Mansion of Happiness」や「The Mansion of Bliss」〔Jill Lepore, *The Mansion of Happiness: A History of Life and Death*, Knopf, 2012, p.xxii.〕、「Traveller's Tour」の他、インドのジャイナ教の信仰を教えるため、善行に

- より梯子で高いレベルに移動し、悪行により蛇によって低いレベルに墮ちる「Snakes and Ladders」〈<http://www.vam.ac.uk/content/articles/j/snakes-and-ladders/>〉等が相当する。「Snakes and Ladders」は後にブラッドリー社から発売された「Chutes and Ladders」と良く似ていて、これは蛇を滑り台に置き換えたものと考えられる。
- 6) 原文のサイト 〈<http://www.newyorker.com/magazine/2007/05/21/the-meaning-of-life>〉では次の様に記されている。{「美德を奨励する：promote virtue, 高度に道徳的なゲーム：a high moral game」, 若者の心に美德と悪徳の道徳的原則を強く認識させることを意図する：intended to forcibly impress upon the minds of youth the great moral principles of virtue and vice.}
- 7) ブラッドリーの著書は4冊〔*Color in the Schoolroom*, 1890/ *Color in the Kindergarten*, 1893 / *Elementary Color*, 1895/ *Water Colors in the Schoolroom*, 1900〕である。
- 8) 速度についての問題はダベンポート以降も続き、ハースコヴィツ〔Melville Jean Herskovits, 1895-1963〕の実験への批判もそれが理由と言える。ハースコヴィツは被験者の腕に穴の空いた紙を載せ、色を見る部分以外を覆って見えている皮膚の近くでcolor topを回転させ、実験者が一目見て、円盤構成を再現出来る様に各円盤の数値を記録した。しかし、この場合、円盤の回転速度と色の判定の一貫性の保証に問題があり、問題の解消のために実験者を2人にするという提案も聞かず、予算の問題もあったとはいえ実験者の訓練や調査結果の分析により問題を解消しようとしたことが理由で、ピーターソン〔Joseph Peterson, 1878-1935〕からは、color topの回転速度が一定していないことを批判された。〔Jerry Gershenhorn, *Melville J. Herskovits and the racial politics of knowledge*, Lincoln, Neb. [u.a.]: University of Nebraska Press, 2004, pp.36-37.〕
- 9) マックスプランク研究所の仮装実験室〔The Virtual Laboratory〕の次のサイトでは関係する写真と解説が閲覧出来る。〈[http://vlp.mpiwg-berlin.mpg.de/library/data/lit38688/index\\_html?pn=1](http://vlp.mpiwg-berlin.mpg.de/library/data/lit38688/index_html?pn=1)〉. 〈<http://vlp.mpiwg-berlin.mpg.de/technology/data?id=tec3100>〉, 〈<http://vlp.mpiwg-berlin.mpg.de/sites/data?id=sit54>〉.
- 10) 「京都大学文学部 心理学古典機器博物館」〈<http://www.bun.kyoto-u.ac.jp/psy/museum/index.html>〉には、安藤研究所製の「マルベ (Marbe) の混色の実験装置とその関連機器」「三連混色器」「二連混色器」が挙げられ、「心理学ミュージアム」〈<http://psychmuseum.jp/about/>〉には、山越工作所製の「三連混色器 混色器C号」が挙げられている。これらについては、吉村浩一が多く著している——「安藤研究所という名の会社」〈[http://psych.or.jp/publication/world\\_pdf/72/72-2-3.pdf](http://psych.or.jp/publication/world_pdf/72/72-2-3.pdf)〉 / 「島津製作所が製作・輸入した心理学古典の実験機器」〔『心理学史・心理学論』16・17, 2016, pp.37-53.〕 / 「東北大学に残る心理学古典の実験機器の再検討：2015年の現地調査により得られた新しい知見」〔『法政大学文学部紀要』72, 2016, pp.147-160.〕 / 「第二次世界大戦以前の我が国の心理学実験機器に対する山越工作所の貢献：山越カタログを通してみる製造品の全容」〔『法政大学文学部紀要』68, 2014, pp.99-115.〕 / 「カタログに載らなかった竹井製作所・竹井機器工業の心理学実験機器を通して記憶学習実験機器の起源を探る」〔『心理学史・心理学論』14, 2013, pp.57-69.〕——また、機器に関してのみならず、心理学の実験や検査のデモンストレーション映像を分類した論文〔「戦後第一世代の日本の心理学：映像資料による検討」〔『法政大学文学部紀要』62, 2011, p.90.〕では、「混色実験」が1分程度の映像として「知覚」の領域で作成されていたことが分かる。
- 11) 京都大学の「心理学古典機器博物館」のサイトに掲載されている「マルベの混色器」について調べると、ヴュルツブルク〔Würzburg〕大学の哲学及び倫理学の教授であるマルベ〔Karl Marbe, 1869-1953〕は、1894年、チンメルマン社製「Colour Variator」について、本器が同軸の2つの色の回転盤〔colour wheel〕の角度を移動することで、色の組合せを変更することを可能にしたことを記している。更に、チンメルマン社の混色回転盤に用いた「spiral nut」構造については、マルベが創作したデザインをチンメルマン社が改良して製造したものが「Marbe-Zimmerman colour mixer」等の名称で呼ばれたと述べられている。
- 12) Blackの「B」は既に「Blue」で使用しているためとの説明がある。
- 13) 次のマクスウェルの著書〔James Clerk Maxwell, *Experiments on Colour as perceived by the*

*Eye, with Remarks on Colour-Blindness*, Edinburgh: Printed by Neill and Company, 1855) に関するサイト〈[http://www.jimworthey.com/archive/Maxwell\\_1855\\_OCRtext.pdf](http://www.jimworthey.com/archive/Maxwell_1855_OCRtext.pdf)〉の最終ページには回転盤の図版が掲載されている。

- 14) アネミック・シネマの動画はサイト〈<https://www.youtube.com/watch?v=eLwlsNK2CGg>〉で閲覧出来る。
- 15) ヒルシュフェルト = マックの映像と音楽を組み合わせる実験については〔藪亨「バウハウスと映像芸術」『映像学』映像学3(4), 1989, p.49〕に説明がある。
- 16) 岩井俊雄と坂本龍一のMPI X IPM [Music Plays Images X Images Play Music] もこの楽器に類すると考えられる。音と色とで奏でる楽器の歴史は論文〔Kenneth Peacock, "Instruments to Perform Color-Music: Two Centuries of Technological Experimentation," *Leonardo* 21(4), 1988, p.404〕にまとめられている。
- 17) ベンハム以外が作成した主観色を作り出す円盤は論文〔Yutaka Nishiyama, "Benham's top," *Osaka Keidai Ronshu*, 62(6), March 2012, p.89〕で説明されている。
- 18) 詳細は論文〔新妻成哉・鬼沢貞「ベンハムの円盤 (Benham disk) の実験に基づいた、主観色の機構に関する一試論」『Artes liberales』46, 1990, pp.217-218〕に記載されている。
- 19) ベンハムの独楽の実際の図形はサイト〈<http://www.waynesthisandthat.com/fechner%20colors.html>〉の様なものがある。また、サイト〈<http://www.michaelbach.de/ot/col-Benham/index.html>〉では、スピードを変えて回転して見る事が出来る。
- 20) Currentの画像は、デン・ハーグ市美術館開催の「BRIDGET RILEY THE CURVE PAINTINGS. 1961-2014」〔会期：2016年6月25日～10月23日〕のサイトに掲載されている。
- 21) 錯視が見える時期に関する研究は、サイト〈[http://c-faculty.chuo-u.ac.jp/~ymasa/babytheater/movie07\\_01b.html](http://c-faculty.chuo-u.ac.jp/~ymasa/babytheater/movie07_01b.html)〉に幾つか例が挙げられている。また、赤ちゃんの見え方のシミュレーションは「tiny eyes」〈<http://tinyeyes.com/index.php>〉で見ることが出来る。
- 22) 図版がmumokのサイト〈<https://www.mumok.at/de/12-teiliger-farb-klang-kreis>〉に掲載されている。

## 謝辞

本研究の一部はJSPS 科研費25381236の助成を受けたものである。

## 引用文献

- 1 大岩幸太郎, 内田裕子「学習指導要領の観点に基づく『stdColorソフト』の検討」『大学美術教育学会誌』44, 2012, pp.135-142.
- 2 山形寛『日本美術教育史』黎明書房, 1967.
- 3 葉山正行「昭和22年版『学習指導要領』図画工作編〔試案〕の作成をめぐっての一考察」『美術教育学』8, 1986.
- 4 和田三造「標準色の話」『照明学会雑誌』14(1), 1930, pp.8-9.
- 5 Doreen Becker, *Color Trends and Selection for Product Design: Every Color Sells A Story*, William Andrew, 2016, p.21.
- 6 Friedrich Wilhelm Ostwald, Einführung in die Farbenlehre, Leipzig: Reclam, 1919, S.47-48.
- 7 〈<http://www.fundinguniverse.com/company-histories/milton-bradley-company-history/>〉.
- 8 Crayola 〈<http://www.crayoncollecting.com/hoc06.htm>〉.
- 9 湯川嘉津美「二十恩物の系譜:明治初期における恩物受容をめぐって」『日本保育学会大会研究論文集』43, 1990, pp.32-33, 小笠原道雄「新しい資料の解説によるフレーベル「教育遊具」の体系的考察:資料批判と今日的課題」『広島文化学園短期大学紀要』42, 2009, pp.1-10.
- 10 Milton Bradley, *Elementary color*, Milton Bradley co., 1895, p.130.

- 11 前村晃他『豊田英雄と草創期の幼稚園教育』建帛社, 2010, pp.143-144.
- 12 前掲書, p.146.
- 13 前掲書, p.172.
- 14 前掲書, pp.175-176.
- 15 本多雄伸「ウノ・シュグネウスと手工教育」, <<http://www9.plala.or.jp/Jussih/uc/uc.htm>>.
- 16 Keevak, Michael, *Becoming yellow: a short history of racial thinking*, Princeton University Press, 2011, p.90.
- 17 <<http://library.cshl.edu/resources/library-newsletter/160-2012-10-newsletter/314-ciw-station-for-experimental-evolution>>.
- 18 Keevak, Michael, *op.cit.*, pp.90-93.
- 19 P. Kerim Friedman Racial, *Differences In Skin-Colour as Recorded By The Colour Top*, 6 August 2011. <<http://savageminds.org/2011/08/06/racial-differences-in-skin-colour-as-recorded-by-the-colour-top/>>.
- 20 *Psychological Laboratory of Harvard University*, Cambridge, mass. Published by the university, 1893.
- 21 Milton Bradley, *op.cit.*, pp.31-32.
- 22 <<https://utsic.escalator.utoronto.ca/home/blog/2014/04/04/a-whirl-of-colour-the-zimmermann-colour-variator-in-the-early-psychology-laboratory-at-the-university-of-toronto/>>.
- 23 <<http://collections.peabody.yale.edu/search/Record/YPM-HSI-051418.A>>.
- 24 吉村浩一「第二次世界大戦以前の我が国の心理学実験機器に対する山越工作所の貢献：山越カタログを通してみる製造品の全容」『法政大学文学部紀要』68, 2014, p.105. 山越製作所製造の「電動混色器」の写真, <<http://psychmuseum.jp/machinepage/?id=124>>.
- 25 Kenneth Brecher, Top-ology: A Torque about Tops, *Proceedings of Bridges 2014*, pp.51-58. <<http://archive.bridgesmathart.org/2014/bridges2014-51.pdf>>.
- 26 大智浩「色彩学の回顧」『学報』2, 金沢美術工芸大学. 1957, p.8.
- 27 杉山芳雄「基本感度刺激」『光学』2(4), 1973.
- 28 加藤有希子, 「ミクロコスモスとしての色彩環：ドローネーとグレーズによる一九三〇年代壁画制作の原理」『美學』54(2), 2003, p.62.
- 29 <<http://homepages.abdn.ac.uk/nph120/Optics/colourwebsumm.pdf>>.
- 30 <<http://www.nationalgeographic.com/wallpaper/photography/photos/milestones-photography/color-tartan-ribbon/>>.
- 31 彫刻家 Alexander Stoddart [1959-] の作品カタログ, <<http://www.fasedinburgh.com/wp-content/uploads/2014/08/alexander-stoddart-final.pdf>>.
- 32 一見敏男『印刷のための色彩学』日本印刷新聞社, 2003, p.115.
- 33 THE UNIVERSITY OF MELBOURNE ARCHIVES, p.74. <<http://gallery.its.unimelb.edu.au/imu/imu.php?request=multimedia&irn=7036>>.
- 34 <<http://www.wissenswertes.biz/op-tric-kreisel-set-optik.html>>.
- 35 山根千明「色光で描く：L・ヒルシュフェルト＝マックの《Farbenlichtspiele (色光運動)》」『美學』60(2), 2009, p.161.
- 36 山根千明, “A new art form for common experience: Hirschfeld-Mack’s *Farbenlichtspiele*,” *Centre for Advanced Research on Logic and Sensibility The Global Centers of Excellence Program, Keio University*, 2010, p.346.
- 37 Mark Eli Kalderon, *Form Without Matter: Empedocles and Aristotle on Color Perception*, Oxford University Press, 2015, pp.102-103. <[http://www.gemeentemuseum.nl/files/media/tentoonstellingen/2016/bridget\\_riley\\_the\\_curve/current\\_1964.jpg](http://www.gemeentemuseum.nl/files/media/tentoonstellingen/2016/bridget_riley_the_curve/current_1964.jpg)>.

- 38 <[http://creativegames.org.uk/modules/Art\\_Technology/Cage\\_Duchamp/duchamp\\_rotoreliefs.htm](http://creativegames.org.uk/modules/Art_Technology/Cage_Duchamp/duchamp_rotoreliefs.htm)>.
- 39 <<http://wnycradiolab.tumblr.com/post/32671593449/marcel-duchamp-rotoreliefs-duchamp-recognized>>.
- 40 <<http://www.cinegraphic.net/article.php?story=20110326140929316&mode=print>>.
- 41 宮内裕美「マルセル・デュシャン《アニメミック・シネマ》(1925-26)における身体性をセクシュアリティ：動く文字をめぐる」『F-GENSジャーナル』10, 2008, p.198.
- 42 村田宏「ロベール・ドローネー作〈円形のフォルム〉再考」『跡見学園女子大学人文学フォーラム』14, 2016, p.61.
- 43 川瀬智之「メルロ＝ポンティの美術論：奥行きと運動における同時性」『美学藝術学研究』28, 2010, pp.3-4.
- 44 酒井香澄「Landの二色法による色再現とBelseyの仮説検証」立命館大学文学部哲学科心理学専攻2002年度卒業論文.
- 45 Paola Bressan and Peter Kramer “The dungeon illusion,” *Oxford Compendium of Visual Illusions*, 2015, pp.4-5.
- 46 高柳健次郎「二色法によるカラー再現法」『テレビジョン』14(3), 1960, pp.111-112.
- 47 栗本一郎「色の錯覚とは何か」『光学』39(2), 2010, p.90.
- 48 同上.
- 49 Richard Mehl, *Playing with Color: 50 Graphic Experiments for Exploring Color Design Principles*, Rockport Publishers, 2013.
- 50 小野英志「バウハウスと同時代の作曲家たち」『山陽学園短期大学紀要』32, 2001, pp.5-6.
- 51 尹智博「トロープスと12色環とのダイアグラムの類似性：ヨーゼフ・マティアス・ハウアーとヨハネス・イッテンについて」『芸術工学会誌』54, 2010, pp.60-61.
- 52 年表 <[http://www.doblinger-musikverlag.at/dyn/kataloge/Hauer\\_Prospekt\\_Scan.pdf](http://www.doblinger-musikverlag.at/dyn/kataloge/Hauer_Prospekt_Scan.pdf)>.
- 53 <<https://www.mumok.at/de/atonale-musik-klavierstuecke-heft-i>>.
- 54 『초등학교 미술』비상교육, 他.
- 55 <<http://www.tate.org.uk/whats-on/tate-modern/exhibition/ey-exhibition-sonia-delaunay>>.
- 56 カーターはこれらの本を2005年から2009年にかけて毎年1冊創っている。
- 57 「教育課程の編成に関する基礎的研究 報告書4 諸外国における教育課程の基準（改訂版）：近年の動向を踏まえて」国立教育政策研究所, 2013年3月, pp.10-11, pp.79-90, pp.186-187. <<http://www.nier.go.jp/kaihatsu/pdf/Houkokusho-4.pdf>>.

注及び引用文献のサイト閲覧日は、全て「2016年9月20日」である。

(2016年9月28日提出)

(2016年12月15日受理)