

# ImayohClay: 粘土型インタフェースを用いた色と言葉に親しむための AR 教材

山本知沙<sup>†1</sup> 大島登志一<sup>†1</sup>

**概要:** 本研究では、手を使う体験を重視して、粘土をインタフェースとして活用し「色」と「言葉」を関連付けながら楽しく学べる AR システムを試作した。ユーザは実際に手を動かして、粘土の造形と着色、混色による色の創造を楽しむことができる。着色と混色は投影によって表現され、色の名前として日本の伝統的な色彩語を採用することで、伝統的な色名を通して、日本の言語文化や歴史に触れ、豊かな言語感覚を養うことを期待する。本研究は粘土の着色や造形などの体験を通して、学習の動機づけを高めることを目的とする。

## 1. はじめに

本研究では、「国語」×「図画工作」をテーマに、粘土をインタフェースとして活用することで、ユーザに多感覚的なフィードバックを与える色と言葉の教材を制作する。

文部科学省は児童生徒の読解力の学力向上を重視し、主体的・対話的で深い学びの視点からの言語能力、情報活用能力育成のための指導を充実させることなどを挙げている<sup>[1]</sup>。言語能力は、あらゆる他者と協働し、豊かな人生を切り拓くために重要な資質であるとされ、言語能力向上のために新たな教育の在り方が模索されている。諸外国では、すでに教科横断的な学習が多く取り入れられており、日本でも STEAM 教育<sup>[2]</sup>が注目されている。これは Science(科学)、Technology(技術)、Engineering(工学)、Art(芸術)、Mathematics(数学)の要素の知識や考え方を統合的に働かせ、現実社会の問題を創造的に解決する学習方法を重視している<sup>[3]</sup>。

現状を受けて改訂された図画工作科の指導要領<sup>[4]</sup>には、「生活や社会の中の形や色などと豊かに関わる資質・能力の育成を一層重視することを示す」とあり、造形的に表す活動や作品を作り出すことは、自分にとっての意味や価値をつくり出すことであり、同時に自分自身をも作り出していることであると考えられている。社会の中で出会う色や形を、自分の感覚や行為を通して理解することが重要な学びであると示されている。

要するに読解力をはじめとする言語能力の向上と、教科横断的な学習を早急に進めていくことが、新たな時代の教育の課題であるといえる。

そこで本研究では、「国語」と「図画工作」を中心に、他教科の関心へと繋げ、学習の動機づけを高めるような教材を目指す。粘土造形という体験を通して、先人が感じ表現してきた色と言葉について触れ、学ぶ。日本の伝統色からは、歴史、文学、美術に関連した知識を得ることが可能であり、混色に興味を持つことは物理学的な興味関心に繋がる可能性もある。子供から大人まで、幅広い年齢層が楽し

く学ぶ姿勢を身に着けるために活用されることを想定する。具体的には、粘土の位置計測に Kinect を用いて、粘土にプロジェクタによる映像投影を行う。ユーザの正面に見える PC モニタには日本の伝統色の名前や由来が紹介される。

「色選択パレットデバイス」によって、ユーザは粘土に投影する色を選択し、粘土に投影されている色が何色であるかを知ることができる。(図 1)



図 1 ImayohClay

以上のような研究の趣旨を踏まえて、本システムの名称を日本の伝統色の一つである「今様」に由来して「Imayoh」と命名した。今流行りの、現代風のといった意味があり、平安時代の王朝の女性によく好まれた色だとされている。投影を用いた現代的な粘土のインタラクティブな体験を表現した。

## 2. 関連研究

山岡らは、色と形の関連性を考えながら造形を行える粘土インタフェースとして NeonDough<sup>[5]</sup>を提案している。NeonDough は伝導性粘土、LED やセンサ類を内蔵したモジュール等を組み合わせたもので構成されている。そのため配線が粘土造形の妨げになる問題や、LED の入っている部分にしか着色されないという点が気付きである。また、Jefferson らの「ClaytricSurface: 硬度可変ディスプレイの提

<sup>†1</sup> 立命館大学 映像学部  
College of Image Arts and Sciences, Ritsumeikan University

案とアプリケーションの開発」<sup>[7]</sup>では、粘土や砂など素材そのものの硬度に制限されない硬度可変ディスプレイを提案している。本研究では、実際の粘土を使った造形を採用しており、粘土をデバイス化することはしない。

砂場の形状変化を計測して投影している作品として、「AR Sandbox: Cutting-Edge Earth Science Visualization」<sup>[6]</sup>があるが、本研究では上部からの計測および投影の手法を参考に実装している。

これらの研究はどれも、粘土や砂などある程度自由な形状変化が可能な素材をインタフェースとして用いている。本研究で用いている粘土は造形に十分な柔軟性があり、楽しみながら学ぶツールとして適切であると考えられる。

### 3. システムデザイン

#### 3.1 ユーザの体験

本研究では、多感覚的な刺激を与えられるインタフェースとして粘土を用いる。粘土は小学校の図画工作の授業で用いられるほか、芸術療法などでも用いられる。また子供の頃から身近にあった素材であり、多くの人にとって扱いやすいものであると考えた。粘土造形を加えることによって、直接的な触覚、視覚だけでなく、体験者自身の記憶や感情とも絡む学習効果が得られるのではないだろうか。

粘土で作品制作をする際、絵具を混ぜて色粘土にすることや、造形した後に筆などで着色してより完成度の高い作品に仕上げることがあるが、直接粘土に色を混ぜてしまうと元の白色に戻すことは不可能である。そこで、粘土に色をプロジェクションすることで何度でも着色と混色の体験を可能にした。さらに偶然混ざって作られた色が何色だろうかという情報を提示することで知的好奇心を刺激し、自発的な学習へと繋いでいくことを期待している。

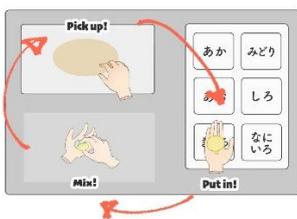


図 2 ユーザの手順



図 3 投影された粘土

体験の手順について述べる(図 2)。はじめにユーザは任意の大きさの粘土を手にする。手に取った粘土を色選択パレットデバイスにのせ、色を選択する。次に粘土板の上に粘土を置くと、粘土の形に合わせて、前の手順で選択した色が投影される(図 3)。色選択パレットデバイスには 5 色の基本色と、「なにいろ」という項目がある。粘土に色が投影された状態で、「なにいろ」に粘土をのせると、PC モニタに色の名前や由来が記載された「色情報パネル」が表示される。粘土板に新たに色を選択した粘土を置き、それぞれに色が投影された 2 つの粘土のかたまりをつくる。粘土のか

たまり同士を近づけることで色同士が混色されて投影される。ユーザは粘土の造形と混色を繰り返す中で、投影された色の名前や由来を知ることができる。

#### 3.2 システム構成

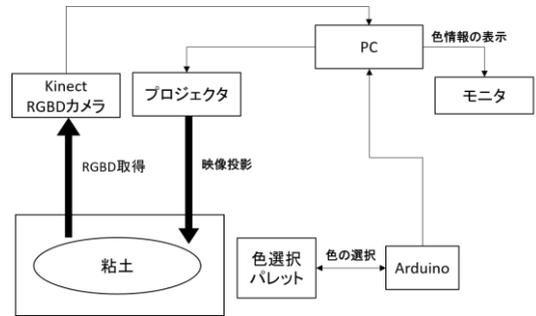


図 4 システム構成図

図 4 にシステム構成図を示す。粘土板領域の中にある粘土を、Kinect を用いて深度画像を取得している。使用した製品は Kinect for Windows である。粘土への投影はプロジェクタで行う。Kinect とプロジェクタは粘土板に対して平行にシステムの上部分に設置し、下向きに投影及び計測を行っている(図 5)。色選択パレットデバイスは自作した。色情報パネルは PC モニタに表示される。

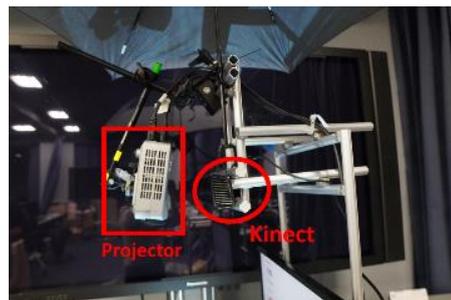


図 5 装置配置の様子

#### 3.3 パレットデバイス

色選択パレットデバイス(図 6)は制御するために Arduino を組み込んでいる。選択された項目を判定するために CdS(硫化カドミウム)セルという光センサを用いている(図 8)。センサが粘土によって隠れることで電気抵抗が低下し、一定値以下になると粘土が置かれたと判定する。ユーザが粘土を置きやすく、光センサが反応しやすいように、デバイスは横から見た際、傾けた階段状になっている(図 7)。

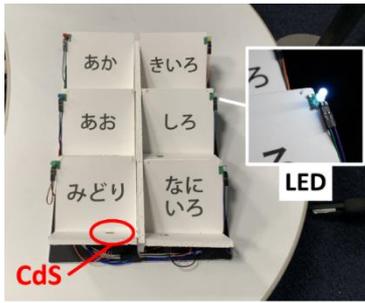


図 6 色選択パレットデバイス

何色のパレットが選択されているのか視覚化するため、パレットに粘土が置かれるとそれぞれの項目に応じた色のLEDが点灯する。粘土に投影するプログラムとはシリアル通信を用いて Arduino との同期を行っている。



図 7 横から見た様子



図 8 CdS セル

### 3.4 粘土の入出力装置化

図 9 にシステム全体の機能ブロック図を示す。Kinect によって取得した深度情報を TCP/IP によって通信し、リアルタイムに画像を更新していく。取得した深度画像から OpenCV を利用してラベリング処理を行う。ラベリング処理で領域として認識された箇所に、色選択パレットデバイスから選択された色を描画する。領域が 2 つある場合には混色処理が行われ、ラベリング結果に混色された色が描画される。OpenCV でつけられたラベルとは別に OpenGL のオブジェクトとして用意された識別番号にラベル番号を格納しておく。粘土が移動した距離に応じて移動した粘土が同一のものであるか識別する処理が行われ、描画色として決定された色はプロジェクタから映像出力される。ユーザがパレットデバイスの「なにいろ」部にのせると、描画されている色の RGB 値を取得し色情報パネルを表示する。

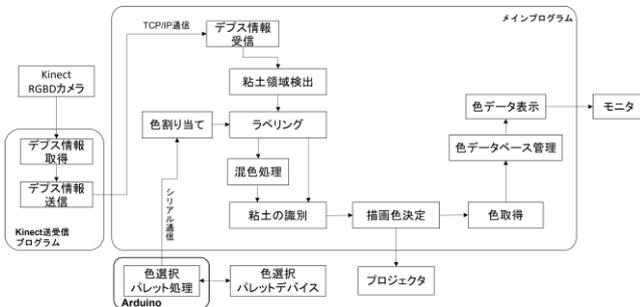


図 9 機能ブロック図

投影範囲である粘土板の上に粘土を置いた時に、深度情報を OpenCV によって処理し、粘土がどこに置かれているかを判定している。受信したままの深度画像は余分な領域

が多いため、粘土を置く範囲のみトリミング処理を行い、元の解像度にリサイズしている(図 10)。

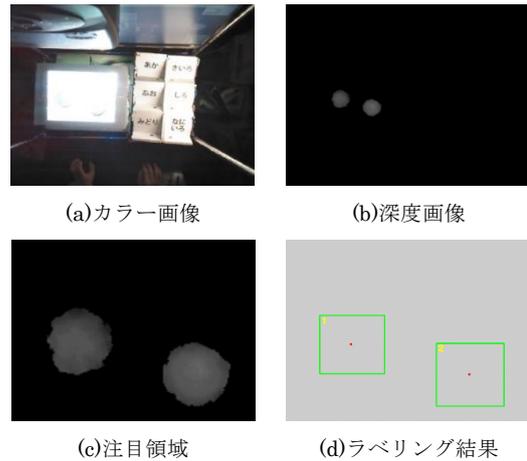


図 10 粘土領域の取得

深度画像は、粘土板の高さを原点とし、Kinect の高さまでの間をグレースケールで表現している。粘土が置かれた部分は高さが出るほど白に近い色として表現されるため、どの位置に粘土が置かれているか判別することができる。深度画像を二値化してラベリング処理を行い、一定以上の面積の領域を粘土の領域としてラベルを設定する。ラベルが付けられた領域に色を描画する。描画する色の決定は、ユーザによって色選択パレットデバイスで選択された色のほか、混色処理がされた後に決定され、プロジェクタを通して映像出力される。

### 3.5 粘土の位置関係の判定

実際の運用では、ユーザが両手に持った粘土の位置を入れ替える可能性があり、本来であれば同一の粘土を追跡する必要がある。しかしながら現状は実装の途中であり、以下のような課題が残されている。OpenCV のラベリング処理は、画像の左上から横方向へ一列ずつ下方向に向かって走査し、二値化画像の画素の色が白の位置を検索するという特性がある。そのためユーザが粘土の上下位置を入れ替えると、ラベルの番号が変わってしまい、描画色も入れ替わってしまうという現象が生じる。

本研究では以下のような方式で、領域同士の位置関係の判定について実装した。位置、ID、領域の面積、色の情報をもったオブジェクトを用意し、ラベルとの同期を行っている。本研究の段階においては、ユーザの持つ粘土は 2 つまでという限定的な状況を設定し、オブジェクト「0」と「1」のみを設定している。まず「saveClay」という仮のオブジェクトをつくり、検出されたラベルの位置、ID、領域の面積、色を紐づける。ラベルが一つもない、つまり粘土が範囲内に置かれていない場合にはすべての「saveClay」オブジェクトの位置を範囲外へと設定する。ラベルが一つの場合には、「saveClay」オブジェクトの「1」を範囲外に設定する(図 11)。

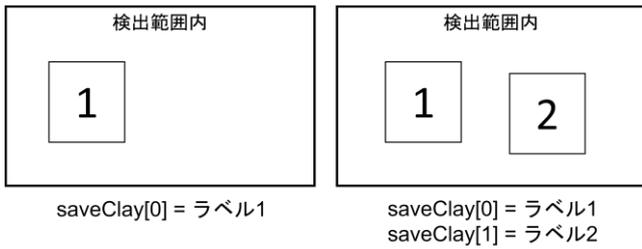


図 11 ラベル番号と saveClay オブジェクト

次に「clay」というオブジェクトをつくり、現フレームの「saveClay」オブジェクトの位置と前フレームの「clay」オブジェクトの位置間の距離を計算する。「saveClay[0]」と前フレームの「clay[0]」間の距離が、「saveClay[0]」と前フレーム「clay[1]」間の距離より小さい場合、「saveClay[0]」という仮オブジェクトは現フレームでは「clay[0]」というオブジェクトであると決定される。

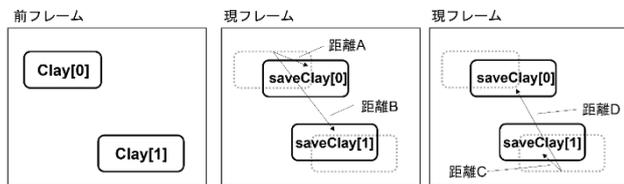


図 12 フレーム更新時の粘土オブジェクトの移動距離

どちらかの粘土の位置が固定されたまま、もう一方の粘土が検出範囲外に出た場合には、設定した閾値以下であれば、そのまま前フレームのオブジェクト決定を引き継ぐよう処理している。これにより、「clay[0]」が外に出て、「clay[1]」が範囲内に残った場合、残った「clay[1]」が「clay[0]」になってしまうという問題を解消している。以下に想定される移動距離ごとのオブジェクトの対応付けについての表を示す(表 1)。

- saveClay[0]と前フレーム clay[0]間の距離 = A
- saveClay[0]と前フレーム clay[1]間の距離 = B
- saveClay[1]と前フレーム clay[0]間の距離 = C
- saveClay[1]と前フレーム clay[1]間の距離 = D

条件	saveClay[0]	saveClay[1]
A<閾値 or D<閾値	clay[0]	clay[1]
B<閾値 or C<閾値	clay[1]	clay[0]
A<= B and C>=D	clay[0]	clay[1]
A>B and C<D	clay[1]	clay[0]
A<=B and C<=D	clay[0]	clay[1]
A>B and D>C	clay[1]	clay[0]

表 1 オブジェクト決定の条件式

### 3.6 粘土における混色の再現

現実の粘土に絵具を混ぜて行われる混色は、次第に黒に近づいていくことから減法混色であると考えられる。図 13 に示したものは、紙粘土に絵具を混ぜてどのように色に変化していくかを観察したものである。これにより、各色の混色結果と、混ざる過程においてマーブル模様を描きなが

ら徐々に一つの色へと変化していくことがわかった。



図 13 粘土の混色実験

粘土の混色再現について、本研究の段階においてはラベリングされた領域間の距離が一定以下になることによって混色されたとする。色は徐々に変化していき、実際の粘土に見られたようなマーブル模様の変化は再現していない。ラベリング処理時に領域の重心を求め、重心間の距離を計算し、この距離が近いほど混色表現も強くなる(図 14)。どちらかの粘土が領域外にある場合にはこの処理は行われない。計算の流れを以下に示す。

領域同士の距離を D とし、色に変化していく閾値を S とする。距離によって定まる係数 K を、

$$K = \frac{1 - (S - D)}{S}$$

とする。

領域 1 の色を  $C = (r, g, b)$  とし、領域 2 の色を  $C_1 = (r_1, g_1, b_1)$  とする。距離 D が閾値 S 以下の場合、

$$C = K \times C + (1 - K) \times C_1$$

$$C_1 = K \times C_1 + (1 - K) \times C$$

という式で表される。

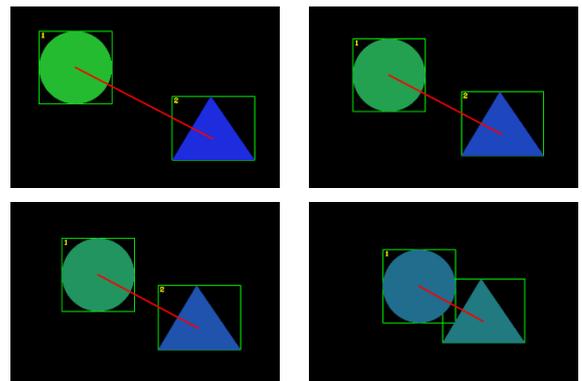


図 14 混色の再現

2 領域における混色の再現は以上の通りである。しかし、今後 3 領域以上の自由な混色を表現する際には、また新たな計算が必要となる。

### 3.7 色彩情報の生成と表示

色情報パネルに記載している項目は、「①色の名前(漢字)」、「②色の名前(ひらがな)」、「③色の名前(ローマ字)」、「④色の図」、「⑤仲間の色」、「⑥由来(詳細)」、「⑦由来(一言)」

「⑧小学校で習う漢字」の8項目である(図15)。色の由来は主に『日本の伝統色』<sup>[8]</sup>より引用している。色のRGB値は書籍によって異なるが、『日本の伝統色』<sup>[8]</sup>の値で統一している。また『日本の色辞典』<sup>[9]</sup>、『定本和の色辞典』<sup>[10]</sup>を参考に、250色の情報について記載している。日本の伝統文化だけでなく、言葉に触れることも本研究の目的としているため、小学校で習う漢字も項目として記載している。仲間の色は、小学校などで用いられる色鉛筆やクレヨンセットの基本色12色を記載した。色の名前自体は難解であっても、基本の色があることで理解しやすくすることを目的としている。

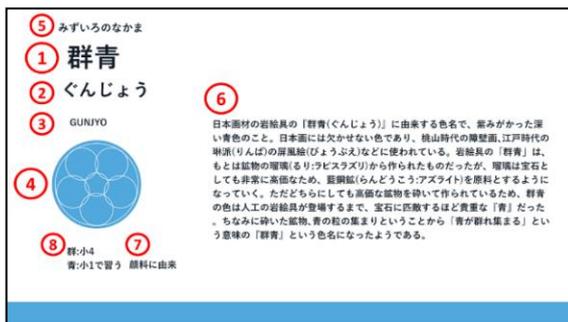


図15 色情報パネル

色情報パネルの生成方法について述べる。上記の色情報に加えてそれぞれのRGB値を記載したCSV形式のデータを用意する。項目ごとに位置や大きさを設定し、250色分のパネルを生成した。この手法で実装したことにより、今後さらなる色情報の追加が容易に可能である。

色情報パネルは粘土を、色選択パレットデバイスの「なにい」部に置いた際に表示される。本研究段階において、粘土オブジェクトは2つまでと限定しているため、「なにい」部に入力があった時点で、粘土の検出範囲外にある粘土オブジェクトの色がパレットに置かれているものとする。粘土オブジェクトに何色が投影されているかどうかは、RGB値によって設定されているため、その値を参照する。各色情報パネルにはRGB値が指定してあるため、3次元空間における2点間の距離を求めることで近似値が算出できる。日本の伝統色には「四十八茶百鼠」と呼ばれるように茶色、灰色系統の色が多く存在するのに対して、高貴な身分の人が着るものとされた色などが存在する、黄色や紫色系統は幅が狭い。そのため、粘土に投影されている色と近似値として求められた色情報パネルの色味に差異が生じることがある。

#### 4. 実験とその考察

ImayohClayの粘土型インタフェースの有用性、および学習の動機付けを高めることに効果があるかを検証するため、立命館大学映像学部映像学科に所属する男女16人を対象に評価実験を行った。被験者には2通りの実験を行い、そ

れぞれの実験の後にアンケートに回答してもらった。実験の流れは以下の通りである。

1. 日本には古来より様々な色の名前があり、その由来には文化的・歴史的背景があるということを手前情報として提示する。
2. マウスのみを用いた操作で、着色・混色を通して「色情報パネル」を自由に見てもらい、覚えていられる色を書き出してもらおう。
3. 粘土インタフェースを用いて、同様に着色・混色を通して「色情報パネル」を見もらう。さらに粘土を用いた体験では、色や名前などから自由に連想したものを造形してもらおう。その後覚えていられる色を書き出してもらおう。

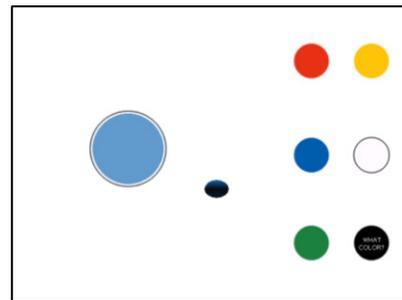


図16 マウスで体験するプログラム

評価実験を行うにあたって、マウス操作のみで自由に混色を行い、色情報パネルを表示するプログラムを作成した(図16)。混色の再現や色情報を表示するために用いられている実装方法は、粘土を用いて実装しているものと同じ方法である。

本実験では、粘土型インタフェースの使用によってユーザの記憶の定着度に差異は見られなかった。しかし色の由来から着想を得て粘土の造形(図17)を行った被験者は、それに関する色名や由来についてよく記憶していた。また子供の頃、粘土遊びが好きだったかという問いに対して、過半数以上の被験者が好きであったと回答した。



図17 被験者による造形の例

粘土型のインタフェースの有用性については、主体的な学びへの第一歩としては効果が期待できると考える。第一に粘土遊び自体への好感度が高かった点と、混色体験と合わせることで、より多くの色について知りたいという探求心が生まれたという点が理由である。ImayohClayは「色」と「言葉」と「粘土」という複数の要素を持つことから、ユーザを混乱させてしまったり、情報過多になってしまったりといった不安もある。そのため、日本の伝統色を通して日本文化や歴史について学ぶことができるというのはあ

くまでも副次的効果であり、学びへの前向きな姿勢を身に付けてもらうことが本研究の最も効果の期待できるところである。

その後 SIGGRAPH Asia 2021 においても、幅広い年齢層を対象とした運用実験を行った。ここでは 250 名を超える多くのユーザに体験してもらうことができた。4 歳の男児は粘土遊びと投影による着色や混色を楽しんでもらうことができたが、色名に興味を示さなかった。小学 4 年生の女児は色の名前にも興味を示しており、粘土遊びと伝統色による学習の動機付けを高めることに期待ができる。



図 18 SIGGRAPH Asia 2021 での展示の様子

## 5. まとめ

本研究では、「国語」と「図画工作」を中心に教科横断的な学習と、主体的な学習の第一歩となるシステムの開発を行った。デバイスの使いづらさや、粘土の検出技術などに課題は残るものの、粘土を用いた体験に対する肯定意見は多くあった。日本の伝統色を採用した点については、教科等横断的な学習を達成するための要素として十分機能しているといえるだろう。粘土の体験自体は楽しく学ぶこと自体には効果的であることが示され、色と言葉に親しむための第一歩的システムとして活用できるといえる。

一方で粘土の体験に夢中になってしまい、色情報に関心が向かなかつたり、情報過多になってしまつたりという問題については、各要素を慎重に検討し直す必要があるともいえる。図画工作科の造形指導の際には、何度でも繰り返し色を変えることが可能な本システムは非常に有用性が高いと考えられる。色の背景について学ぶという要素は段階的に追加していくことで、ユーザを混乱させることなく、活用できるのではないだろうか。また対象とするユーザごとに表示する色情報の内容についても精査する必要がある。

今後の展望としては、粘土体験の拡張、デバイスの改善が挙げられる。粘土体験の拡張は、粘土領域が 3 つ以上になつても検出が可能になること、手などで覆われても領域が入れ替わらないことなどユーザ目線で使いやすいものにする必要がある。デバイスの改善としては、光センサの見直しによる色選択パレットデバイスの改良が急がれる。また、本研究段階においては実際の粘土のような混色表現に

マッピングシミュレーションを取り入れることは叶わなかったが、これを表現できるとさらにユーザの感性を刺激するシステムになると考えられる。

**謝辞** 本研究は、JSPS 科研費 21K12004 の助成を受けたものです。

## 参考文献

- [1]文部科学省: 小学校学習指導要領(平成 29 年告示)解説 国語編, 2017
- [2]文部科学省初等教育局教育課程課:STEAM 教育等の教科等横断的な学習の推進について  
<[https://www.mext.go.jp/content/20210714-mxt\\_new-cs01-000016477\\_004.pdf](https://www.mext.go.jp/content/20210714-mxt_new-cs01-000016477_004.pdf)>, (2021 年 12 月 6 日参照)
- [3]STEAM JAPAN: STEAM 教育って? <<https://steam-japan.com/about/>>, (2021 年 12 月 6 日参照)
- [4]文部科学省: 小学校学習指導要領(平成 29 年告示)解説 図画工作編, 2017
- [5]山岡潤一, 箕康明: NeonDough: 導電性粘土を用いた光る粘土細工, ヒューマンインターフェース学会論文誌 Vol.14, No.4, pp.341-350, 2012
- [6]Oliver Kreylos, Burak Yikilmaz, Peter Gold: AR Sandbox: Cutting-Edge Earth Science Visualization, ACM SIGGRAPH, 2014
- [7]Jefferson Pardomuan, 佐藤俊樹, 的場やすし, 小池英樹: ClaytricSurface: 硬度可変ディスプレイの提案とアプリケーションの開発, 日本ソフトウェア科学会第 20 回インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ, 2012
- [8]濱田信義ほか: 日本の伝統色 THE TRADITIONAL COLORS OF JAPAN, 株式会社パイ インターナショナル, 2016
- [9]吉岡幸雄: 日本の色辞典, 紫紅社, 2021
- [10]内田広由紀: 定本和の色事典, 株式会社視覚デザイン研究所, 2019