

## コンテンツの投影による教育用図形パズルの開発

笠井嘉将<sup>†</sup> 山田雄太<sup>†</sup> 塩澤秀和<sup>†</sup>

**概要:** タングラムは正方形の板を7つのピースにわけ、それらのピースを組み合わせてさまざまな形を作って楽しむ図形パズルであり、知育玩具としても知られている。本研究では、子供を主な対象ユーザとし、ユーザが実物の木製のタングラムをテーブル上で並べて図形を完成させると、その状況をカメラでリアルタイムに認識し、プロジェクタによってテーブル上にその図形に対応する映像コンテンツを投影するシステムを開発した。これによって、パズル完成時のユーザの達成感をより高め、子供の意欲を引き出すことを狙いとしている。

**キーワード:** タングラム, 図形パズル, 知育玩具, テーブルトップインタフェース, 投影型インタフェース

### Development of an Educational Shape Puzzle Featuring Projection of Visual Content

YOSHIMASA KASAI<sup>†</sup> YUTA YAMADA<sup>†</sup> HIDEKAZU SHIOZAWA<sup>†</sup>

**Abstract:** Tangram is a kind of shape puzzle that uses seven pieces made of a square plate, and is also known as an intellectual toy. The objective of the puzzle is to combine those pieces to make various shapes. In this research, we developed an educational system based on the puzzle. In this system, as a user arranges real wooden tangram on tabletop to combine a shape, the situation is recognized by the camera in real time and the projector displays visual content onto the tabletop. This aims to raise the children's motivation and sense of accomplishment.

**Keywords:** Tangram, Shape Puzzle, Intellectual Toy, Tabletop Interface, Projection Interface

#### 1. はじめに

タングラムは、図1のように正方形の板を直線的に切り分け、直角二等辺三角形4つ、正方形1つ、平行四辺形1つの合計7つのピースに分割し、それらのピースを組み合わせてさまざまな形を構成して楽しむパズルの一種である。19世紀のヨーロッパには記録が残っており、発祥は中国とも言われている。日本では、江戸時代に「清少納言の知恵の板」と呼ばれる類似のパズルが紹介されている。

このような図形パズルは、シルエットパズルというジャンルに分類され、一般的な遊び方では目標とする完成図形のシルエット（輪郭）のみが提示され、プレイヤーは試行錯誤しながらパーツを配置してその形を作る。タングラムは蝶や花など多彩な形を作ることができ、専門の書籍も数多く出版されている。なかには1000通り以上の図形の組み合わせを紹介したもの[1]もある。

タングラムは、積み木やジグソーパズルなどと同様に、子供向けの知育玩具としても親しまれている。子供はタングラムで遊ぶことによって集中力が高まり、積み木遊びのような創造的な思考や、相似や対称性などの数学的な図形感覚を養うこともできると言われている[2][3]。また、他のパズルと同様、高齢者の認知症予防にタングラムのコンピュータゲームを用いる事例も報告されている[4][5][6]。

本論文では、シルエットパズルとしてのタングラムを実世界指向インタフェースの考え方で拡張し、実物のタングラムにコンピュータによる映像的な演出を加えることで、より子供の意欲を引き出す教育用図形パズルのシステムを提案し、その開発について報告する。

本システムでは、実物の木製のタングラムを用い、プレイヤーがテーブル上でそれを並べてパズルに正解すると、その状況をカメラで認識し、プロジェクタによってその図形に対応した映像コンテンツを投影する。例えば、形が蝶ならばタングラムから蝶が飛び、花ならば花が咲いて風に揺れるといった映像を投影する。これによってプレイヤーの達成感をより高めることができると考えている。

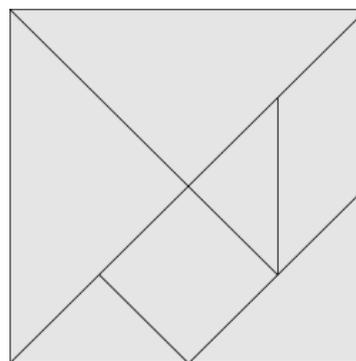


図1 タングラム  
(正方形の板から各ピースを構成)

<sup>†</sup> 玉川大学工学部ソフトウェアサイエンス学科  
Department of Software Science, Tamagawa University  
shiozawa@eng.tamagawa.ac.jp http://vilab.org

## 2. 関連研究等

近年、カメラによる映像認識、プロジェクションマッピング、プロジェクション型 AR (Augmented Reality : 拡張現実感) [7]等を利用した実世界指向インタフェース技術の発展にともなって、インタラクティブな知育玩具や教材に関する研究および作品が多く発表されている。これらのインタラクティブな知育玩具や教材では、学習者（特に子供）の自発的な学習行動を促し、さらには学習内容に関する興味や理解を促進することを狙いとしている。

カメラによる映像認識と AR を用いた教育コンテンツとしては、紙の教科書のページをマーカーや画像処理によって認識し、タブレット端末やプロジェクタを用いた AR によって拡張するものがある。初期のシステムとしては[8]があり、これは理科の教科書の図の説明に物理シミュレーションによる CG (コンピュータグラフィックス) の映像を投影し、手の指によるインタラクションを可能にする。

本研究に直接関係するような実物体とプロジェクションマッピングを組み合わせた知育玩具の提案としては、Tsumiki [9]というインタラクティブな作品がある。これは、ユーザが白い立方体の積み木で立体的な図形を構成すると、その配置を画像処理で認識し、積み木の表面に映像が投影されるものである。例えば、積み木を縦長に積むとキリンの絵、横長に並べるとワニの絵といったように、動物のアニメーション、幾何学模様のイルミネーション、算数の式などが投影される。

このようにコンピュータによる情報の操作に、形のある実物体を利用する概念をタンジブルユーザインタフェースというが、実物体を動かす操作は子供にとっても直感的であり、伝統的なおもちゃや遊びとも相性がよい。

子供向けのアーケードゲーム機「えーでるすなば」[10]は、洗面台程度の大きさのシステムの中でプレイヤーが砂遊びをすると、砂によって形作られた凹凸をカメラで認識し、上方に設置されたプロジェクタから海や動物などのコンテンツが投影される。これはタンジブルユーザインタフェースとして提案された SandScape [11]の技術を、知育コンテンツとしてデザインし直したものと見える。

「つながる！積み木列車」[12]という作品では、子供がテーブルの上に色のついた積み木を置くと、その位置をカメラを通して認識し、同色の積み木同士をつなげるように線路が投影されて CG の列車が走行する。このシステムでは、コンテンツの作成によって複数のユーザが関わり合うこと（共創）がひとつの狙いとなっている。

また、タングラムとデジタル技術を組み合わせたものとしては、コンテンツの投影は行わないが、実物体の配置をカメラ画像から認識する iPad 用の Osmo Game System [13]がある。これは、主に教育目的を意識したゲームシステムであり、付属の Osmo リアクターを iPad の内向きカメラに

マウントすると、机上のさまざまな実物体を認識するゲームソフトウェアで遊ぶことができる。その中には、実物のタングラムを組み立てるとその形を認識し、タングラムの問題を解きながら世界を探検するゲームも提供されている。

タングラムなどのパズルは、子供だけでなく高齢者等の認知機能の維持・改善にも効果的であると言われており、タングラムを利用したいわゆる「脳トレ」型のアプリケーションソフトウェア[4]も発売されている。

研究としては、実物のタングラムを用いた高齢者向けの認知機能トレーニングシステム eTangram [5]がある。これは ARToolKit を利用し、個々のピースに AR マーカーを付与することによって、カメラ映像を解析してパズルの状態を認識する。形が完成すると、ディスプレイに表示されたカメラ映像に 3DCG を重畳表示する機能も備える。これを改良した[6]では、ヘッドマウントディスプレイを用いた VR (バーチャルリアリティ) 表示も実験されている。

## 3. 本研究の提案

本研究では、子供を主な対象ユーザとし、タングラムの伝統的な遊び方に沿った上で完成時にタングラムおよびその周囲に魅力的な映像コンテンツを投影することで、プレイヤーの達成感を高めるシステムを提案する (図 2)。

インタラクションの流れは以下ようになる。

- (1) システムは、プロジェクタを用いてテーブル上に目標とする図形のシルエットを投影する。
- (2) プレイヤーは、テーブル上で専用のタングラムを用いて目標図形を組み立てるために試行錯誤する。
- (3) システムは、テーブルの上方に設置されたカメラを通してその状況を認識する。
- (4) プレイヤーが図形を完成させると、システムはその図形に対応した映像コンテンツを投影する。

このようなシステムを実現するためには、カメラで撮影した映像からタングラムのピースの配置を認識する必要があるが、通常この機能の開発はそれほど容易ではない。eTangram [5]では、タングラムの各ピースに AR マーカーを貼付することでその位置を認識しており、Osmo [3]では、

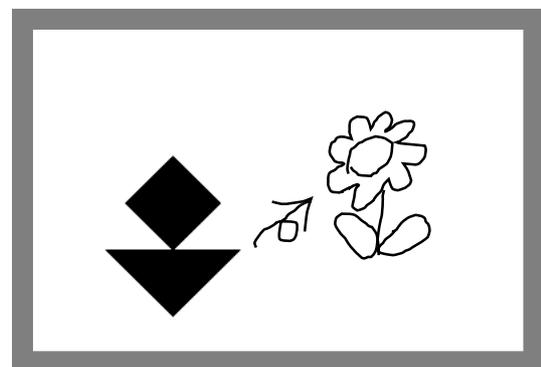


図 2 本研究の提案イメージ  
(タングラムを組み立てると映像が出現)

色と形状により画像処理で各ピースを認識しているものと思われる。それらの方法では、ピース同士の位置関係から図形の完成を判断する処理が必要となる。

この問題に対して、本研究では、画像から特徴点を抽出することによる近年のマーカーレス AR の技術を利用して、完成形の図形全体の画像を AR の認識画像として登録することで、ピース同士の位置関係の判断の処理を不要とした。

これによって処理の大部分をライブラリ (NyARToolkit) に任せることが可能になり、プログラムの構造が簡略化されるとともに、開発者またはユーザが多くの図形を容易に登録できるようになると考えている。

## 4. システムの構成

### 4.1 開発環境

本システムの開発には言語として Processing を使用し、画像処理ライブラリには NyARToolkit for Processing のバージョン 3 [14] を用いた。Processing を選択した理由は、視覚的な表現が比較的容易に実現できるためである。

NyARToolkit は、ARToolkit を元に開発された互換ライブラリであり、従来から ARToolkit 2.x 系のマーカー認識機能をサポートしていたが、任意の画像の登録できるマーカーレス型の AR (NFT 機能) を搭載した ARToolkit Professional (ARToolkit 5) が 2015 年にオープンソース化されたのにもとない、同等の機能をサポートした。NyARToolkit for Processing が NFT 機能を実装したことにより、本システムを Processing 上で開発することが可能となった。

### 4.2 装置の構成

本研究では、プレイヤーがテーブル上で作成したタングラムの図形を認識する必要があるため、プロジェクトとカメラが必要である。図 2 のように、テーブルの上方にカメラを設置し、映像を投影するためのプロジェクトもテーブル上に設置した。

プロジェクトは、テーブル上に設置できる小型のものが好ましいので、超短焦点で比較的廉価な LED プロジェクタ



図 3 装置 (カメラ・プロジェクタ)

(LG PH450UG) を利用した。カメラはいわゆる「Web カメラ」として市販されている USB カメラ (ロジクールやマイクロソフトのもの) を利用した。

### 4.3 図形の読み取り

ユーザが組み立てた図形の読み取りには、NyARToolkit の自然画像トラッキング (NFT) 機能を利用し、完成図形をまるごと登録することでタングラムの各ピースの配置の判断を不要としている。この機能のために、あらかじめ本システムで利用するタングラムで組み立てた図形を撮影し、NyARToolkit for Processing に付属する NftFileGenerator で画像を登録し、必要な NFT ファイルを作成した。

この際、通常の無地のタングラムでは特徴点が少ないため、認識に要する時間が長く誤認識の発生率も高いという問題が生じた (図 4)。そこで本システムで使用するタングラムにはシールを貼りつけて、図形としての特徴点を増やすことにした (図 5)。これによって認識精度が大幅に向上した。

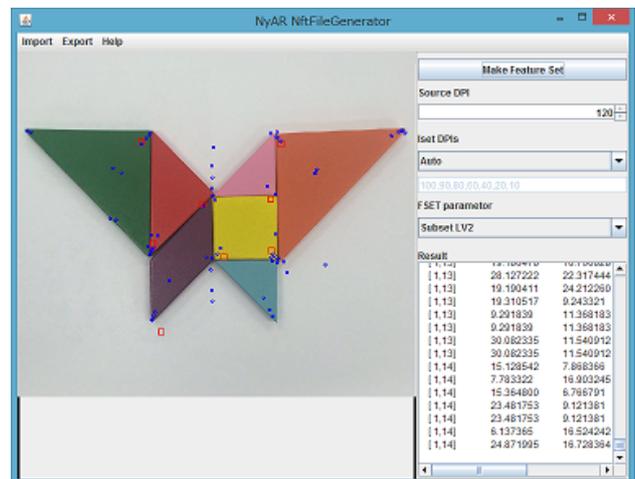


図 4 NftFileGenerator による AR 用画像の登録  
(シールを貼らない場合の特徴点分布)

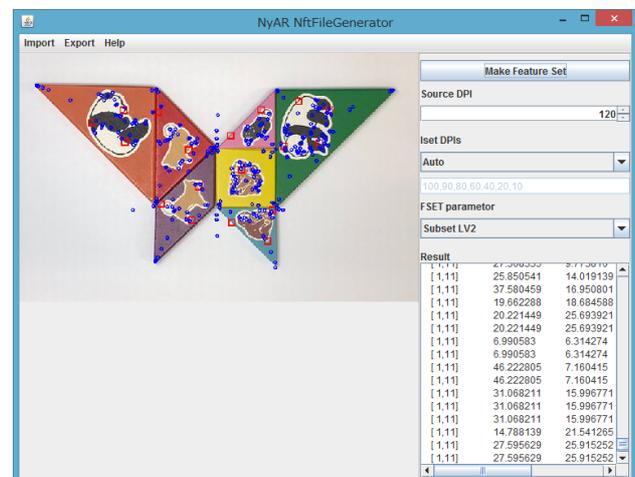


図 5 NftFileGenerator による AR 用画像の登録  
(シールを貼って特徴点を増やした場合)

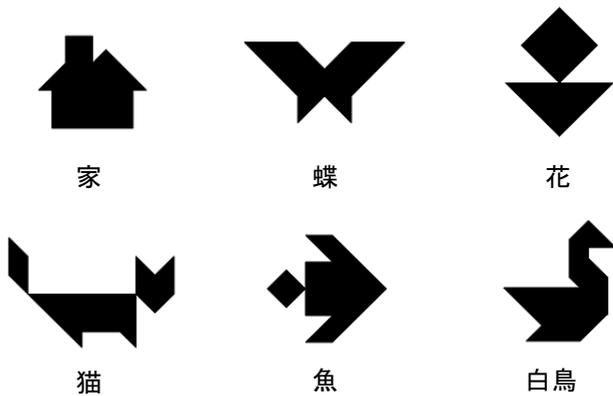


図6 現在対応している図形パターン

本論文執筆時点では、本システムで対応している図形は、図6に示した6通りである。これらの6通りに対してさらにピースを入れ替えても同じ図形を構成できる複数の正解パターンの組み合わせを NftFileGenerator で登録し、後述するコンテンツとの対応を設定した。

#### 4.4 映像コンテンツの製作

本研究の趣旨としては、プレイヤーが図形を完成した場合には、当然美しく高品質な映像コンテンツが表示されることが好ましい。しかしながら、著者らには高品質なアニメーションを制作することが難しかったため、今回はインターネットで手に入るフリーのアイコン素材[15]を用いて、アイコンが動くアニメーションをプログラミングし、映像コンテンツとして使用した。

### 5. 本システムの使用例

図7(a)~(d)では、蝶の形を例とした本システムの使用例を示す。まず、システムを開始すると、テーブル上に(a)のような問題のシルエットが現れる。そこで、(b)に示すようにプレイヤーは試行錯誤をしながら形を組み立てる。最終的に(c)のように形が完成するとシステムがそれを認識し、(d)のようにタングラムおよびテーブル上にコンテンツが投影される。この場合は、蝶の形のタングラムからたくさんの小さな蝶が羽ばたいて円形に広がるようなアニメーションが投影されているのがわかる。

図8は、本システムで対応している、家、蝶、花、猫、魚、白鳥のアニメーションを一覧したものである。

### 6. 考察と今後の展望

著者が開発中に本システムを使用した感想では、従来のタングラムの遊び方と比較して、より達成感や喜びを感じることができた。また、本システムをあるユーザ(大学生)に使用してもらい、同時に他の人にその様子を見てもらった場合でも、図形の完成時に表示されるコンテンツを見たいので通常のパズル等よりも熱心に取り組んだ(取り組めるだろう)という好意的な意見が得られた。



(a) シルエット表示による出題



(b) 図形を組み立てている最中



(c) 図形が完成した状態



(d) コンテンツの投影(蝶)

図7 本システムの使用例



家の表示例



蝶の表示例



花の表示例



猫の表示例



魚の表示例



白鳥の表示例

図8 各図形のコンテンツ表示例

現状で用意されているコンテンツは全6パターンであり、この6パターンだけでは、すぐに遊び終わってしまっていてバリエーションが少なく感じるのも事実である。そのため、対応するコンテンツの数を増やす必要性を感じた。また、アニメーションにももう一工夫が必要であろう。

現在、本システムは1つのタングラムを認識する1人用のシステムであるが、今後の展望として、テーブル型インタフェースの特性を活かし、同時に多人数で遊ぶ機能の実現を計画している。複数のプレイヤーが組み立てた図形同士の関係によって投影されるコンテンツが変化し、一種の物語性を加えることができれば、「つながる積み木電車」のように子供同士の「共創」につながるより魅力的なシステムが実現できると考えている。

## 7. おわりに

本研究では、子供の意欲を引き出す教育用図形パズルを作成した。このシステムは、ユーザが作成したタングラム図形と連動したコンテンツをプロジェクタによって投影することで、子供の意欲を引き出し、タングラムの教育効果を高めることを狙ったものである。

本システムを試験的にユーザに使用してもらったところ、通常のパズル等よりも熱心に取り組めるという意見が得られた。実際に多数のユーザに使ってもらうことによる実験やアンケート調査は今後の課題である。

また、現在6つの図形に対してアイコン画像によるアニメーションの投影まで完成したが、さらに多くの図形に対

応し、より良質な映像コンテンツを提供することが必要であると考えるのでさらに開発を続けていきたい。ピースの特徴点を増やすためにシールを貼るという解決策も、よりタングラム本来のイメージを壊さないようなものに改善する必要がある。

今後、テーブル型インタフェースによるシステムの特性を活かし、本システムを複数人で利用可能に拡張することは大きな目標である。複数のプレイヤーが組み立てた図形同士の関係によって投影されるコンテンツが変化し、一種の物語性を加えることができれば、より魅力的なシステムが実現できると考えているので、開発を続けていきたい。

## 参考文献

- [1] Jerry Slocum et al.: The Tangram Book: The Story of the Chinese Puzzle with Over 2000 Puzzles to Solve, Sterling Publishing, 2004.
- [2] 中野良樹: 数理パズル「タングラム」における洞察的問題解決, 秋田大学教育文化学部研究紀要 教育科学部門, 2009.
- [3] 朝日新聞: 頭がよくなる!? タングラム 七つの図形から広がる世界, 2007年07月04日.  
<http://www.asahi.com/edu/student/atama/TKY200707040237.html>
- [4] GAME-INDEX.net: Chinese Tangram Puzzle: An Old Way to Keep Your Brain Active (タングラム: 脳トレパズル), 2014.  
[http://game-index.net/?category\\_name=ipad](http://game-index.net/?category_name=ipad)
- [5] Begoña García Zapirain, Amaia Méndez Zorrilla, Sabin Larrañaga: Psycho-Stimulation for Elderly People Using Puzzle Game, Proc. 2nd IEEE Consumer Electronics Society's Game Innovations Conference, 2010.
- [6] M. Frutos-Pascual, B. García-Zapirain, A. Méndez-Zorrilla: Improvement in Cognitive Therapies Aimed at the Elderly Using a Mixed-Reality Tool Based on Tangram Game, Computer Applications for Graphics, Grid Computing, and Industrial Environment (Proc. GDC, IESH and CGAG 2012, Held as Part of FGIT 2012, Gangneung, Korea), pp.68-75, Springer, 2012.
- [7] 岩井大輔: 特集 拡張現実感 (AR) 応用 5: プロジェクション型 AR, 情報処理, Vol.51, No.4, pp.408-413, 2010.
- [8] Hideki Koike, Yoichi Sato, Yoshinori Kobayashi, Hiroaki Tobita, Motoki Kobayashi: Interactive Textbook and Interactive Venn Diagram: Natural and Intuitive Interfaces on Augmented Desk System, Proc. ACM CHI 2000, pp.121-128, 2000.
- [9] ppp: TSUMIKI, 2011. <http://ppp.tokyo.jp/works/tsumiki>
- [10] SEGA: えーでるすなば, 2014. <http://edel-sand.sega.jp>
- [11] Ben Piper, Carlo Ratti, Hiroshi Ishii: Illuminating Clay: A 3-D Tangible Interface for Landscape Analysis, Proc. ACM CHI 2002, 2002. <http://tangible.media.mit.edu/project/sandscape/>
- [12] チームラボ: つながる積み木電車 / Connecting! Train Block, 2013. <https://www.team-lab.net/jp/w/trainblock>
- [13] Tangible Play: Tangram - Osmo, 2014.  
<https://www.playosmo.com/en/tangram/>
- [14] NyARToolKit Project: NyARToolkit for Processing 3.0.2, 2016.  
[http://nyatla.jp/nyartoolkit/wp/?page\\_id=166](http://nyatla.jp/nyartoolkit/wp/?page_id=166)
- [15] TopeconHeros: ICOON MONO, [icoon-mono.com](http://icoon-mono.com)