

複数の図形の認識とコンテンツの投影に対応した 教育用図形パズル

萩原一真[†] 塩澤秀和[†]

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、我々の先行研究を複数のタンングラムを認識するように発展させ、テーブル上で複数のプレイヤーが協力または分担して複数のタンングラムを組み立てると、完成した図形の組み合わせに応じてストーリー性のある映像コンテンツが投影される教育用図形パズルを提案する。本システムの狙いは、遊びの中での子供同士の活発なコミュニケーションを促し、自然な学習意欲を引き出すことである。

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

Educational Shape Puzzle Supporting Recognition of Multiple Shapes and Projection of Visual Contents

KAZUMA HAGIWARA[†] HIDEKAZU SHIOZAWA[†]

Abstract: Tangram is a kind of shape puzzle that uses seven pieces made of a single 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 paper, we propose an educational shape puzzle that expands our previous work to recognize multiple tangrams so that multiple players can cooperate or divide tasks to assemble multiple shapes on the table. Depending on the combination of the shapes, the system projects visual contents implying stories of them on the table. The aim of this system is to encourage active communication among children in play and to motivate naturally to learn.

Keywords: Tangram, Shape Puzzle, Intellectual Toy, Tabletop Interface, Projection Interface, Collaborative Learning

1. はじめに

タンングラムは、図1のように正方形の板を直線的に切り分けた7つのピース（「タン」と呼ぶ）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である。19世紀の欧州にはその記録があり、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ピースを配置してその形を作る。タンングラムは蝶や花など多彩な形を作ることが可能であり、書籍[1]には1000通り以上の図形の組み合わせが紹介されている。

タンングラムは、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]。

我々は先行研究[7]において、タン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た教育用図形パズルを提案した。このシステムでは、プレイヤーがテーブル上で実物のタンングラムを並べてパズルに正解すると、その状況がカメラで認識され、プロジェクタによってテーブル上にその図形に対応した映像コンテンツが投影される（図2）。

本論文ではこれを発展させ、複数のプレイヤーが協力または分担して複数のタンングラムを組み立てると、完成した図形の組み合わせに応じてストーリー性のある映像コンテンツが投影される教育用図形パズルを提案する。これによって、遊びの中での子供同士の活発なコミュニケーションを促し、自然な学習意欲を引き出すことが狙いである。

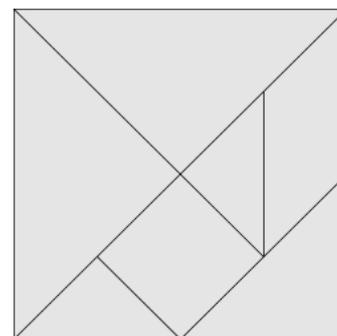
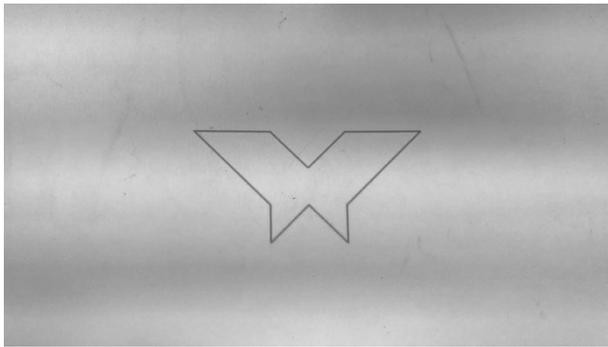


図1 タングラム
(正方形の板から各ピースを構成)

[†] 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>



(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) 映像コンテンツの投影 (蝶)

図2 先行研究[7] (昨年発表のシステム) の実行例

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) [8]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、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もの[9]などがある。

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 [10]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、伝統的な玩具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」[11]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ゲーム機である。これはタンジブルユーザインタフェースの一例である SandScape [12]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いえる。

「つながる！積み木列車」[13]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 1 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 [14]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、実物のタングラムの配置を認識することで、子供が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ある。

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。

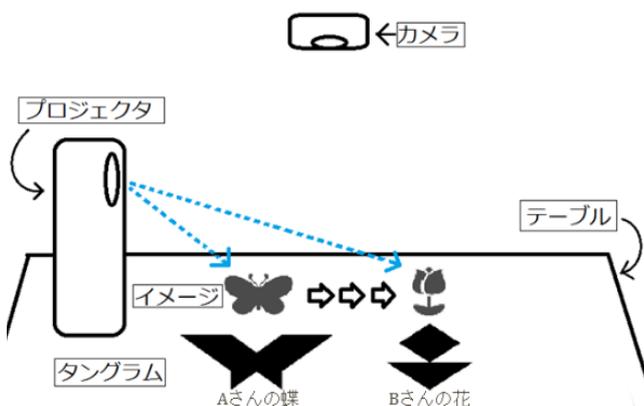
3. 本研究の提案

我々が昨年発表した先行研究[7]では、タングラムの伝統的な遊び方に沿った上で、子供を対象としてプレイヤーの達成感を高めるシステムを提案した。このシステムでは、実物の木製のタングラムを用い、図2のように、はじめに提示されたシルエットに合わせてプレイヤーがテーブル上でパズルに正解すると、その状況がカメラを通してシステムに認識され、テーブル上にその図形に対応した映像コンテンツが投影される。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アニメーションが投影される。

本研究は、これに加えてテーブルトップインタフェースとしての特徴を活かし、複数の学習者が場を共有することによる協同活動や関わり合いを実現する。そのために先行研究のソフトウェアを拡張し、複数の図形を安定的に認識可能にする。そして、各図形に対応した映像コンテンツが投影されるだけでなく、さらに図3のように図形同士の組み合わせに応じて、それらの関係を反映したストーリー性のある新たなコンテンツを投影することを提案する。

この機能によって、例えば、Aさんが蝶、Bさんが花の図形を完成させると、蝶が花のまわりを舞うというように、複数のプレイヤーが協力する面白さが生まれ、複数の子供たちが同時に遊ぶことによる活発なコミュニケーションや子供の想像力の向上が期待できる。

技術面としては、先行研究ではマーカーレスARの技術を応用し、ピースの配置関係ではなく、完成図形の画像を認識画像として登録する手法を提案した。しかし、異なる配置方法で同じ図形が構成できる場合には、すべての配置パターンを登録する必要があった。本研究では、図形的な対称性等を考慮してピースの模様を工夫することにより、異なる配置方法でも図形を認識できる方法を考案した。



4. システムの構成

4.1 使用装置と開発環境

図4が装置の構成である。本研究ではテーブル上に作成されたタングラムの図形を認識し、映像を投影する必要があるため、テーブルの上方にカメラを設置し、プロジェクタもテーブル上に設置した。プロジェクタは、超短焦点で比較的廉価なLEDプロジェクタ(LG PH450UG)を利用し、カメラは「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。

本システムのソフトウェアはProcessingで開発し、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。NyARToolkitは、ARToolkitにならって開発された互換ライブラリであり、ARToolKit Professional (ARToolKit 5)がオープンソース化されたのにもない、任意の画像の登録できるマーカーレス型の自然画像トラッキング(NFT)機能をサポートしている。

4.2 タングラムの認識

我々の先行研究では、タングラムの各ピースの配置を認識して図形の完成を判断するかわりに、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手法を提案した。その際、通常の無地のタングラムでは画像処理による特徴点が少ないため、市販のシールを貼りつけて(図2・図4)、図形としての特徴点を増やすことで、図形認識精度の大幅な向上を実現した。

しかし、単にシールを貼り付ける方法には問題がある。まず、ピースが図形的に対称的で、裏返したり回転させたりして同じ形のものでも、シールの模様によってそれらが区別されてしまう。さらに、タングラムには図形的に合同なピースや2つ以上を組み合わせると同じ形になるピースが多くあるが、それらを交換して図形を構成した場合には別の図形として認識されてしまう。

そのため、異なる配置方法でも正解として機能させるためには、図5のように同じ形が構成できる別解パターンを

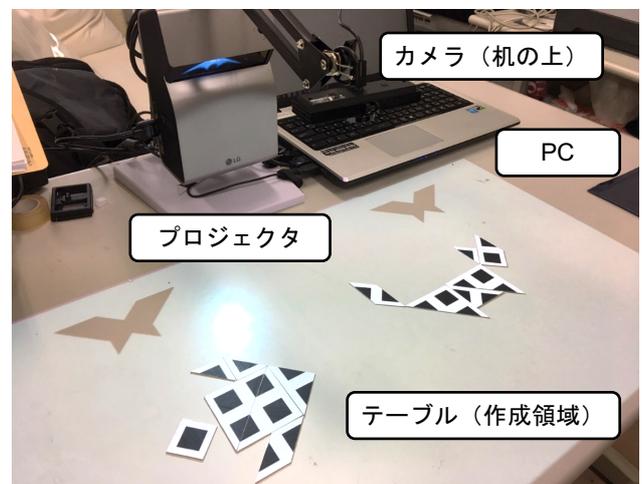




図5 同じ図形を異なるピース配置で作成した例 (一部)

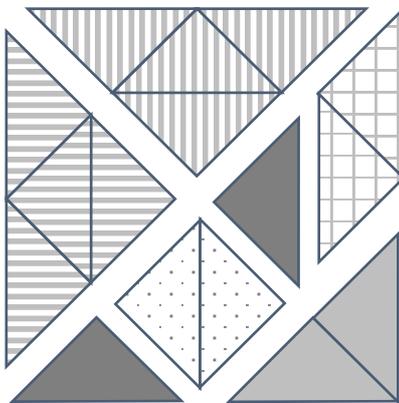


図6 タングラムのピースの構成

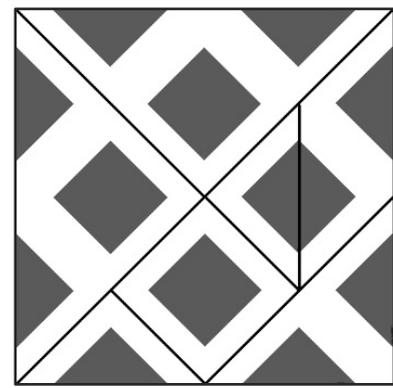


図8 改良したタングラムのデザイン

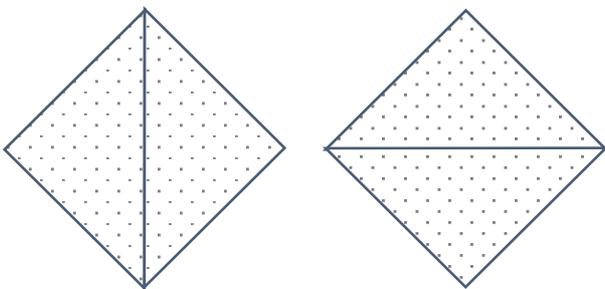


図7 正方形のピースの2通りの構成方法

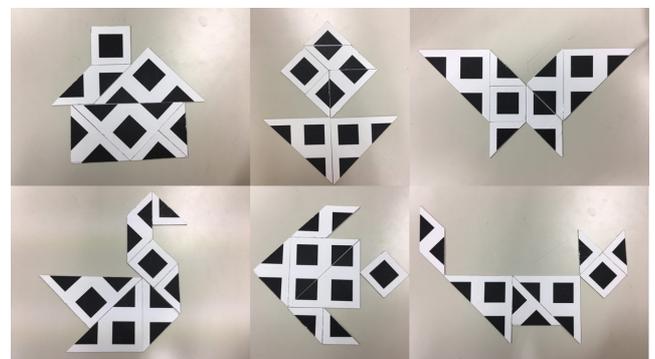


図9 現在本システムでサポートしている図形

すべて登録しなければならないということになる。

本研究では、これらの問題に対処するため、タングラムのピースの形状に注目した。すると、図6に示すように、タングラムのすべてのピースは、最も小さい直角三角形が構成要素となっていることがわかる。よって、この構成要素のピースに十分な特徴点が存在するような模様をつけ、それを組み合わせることによってタングラムのすべてのピースの模様を決めれば、ピースをどのように入れ替えても完成図形は同じ模様にすることができる。ただし、図7に示すように正方形のピースは構成方法が2通りあるので、この対称性も考慮する必要がある。

以上の考察から、本システムではタングラムのデザインを図8のように改良した。このデザインによって組み立てた図形の例が図9であり、これらは現時点で本システムが対応している「家」、「花」、「蝶」、「白鳥」、「魚」、「猫」の6つの図形である。これらの図形は十分な特徴点が得られ、NyARToolKitの複数図形の同時認識機能を有効にしても問題ない認識精度を得ることができている。

認識精度に関しては、この方式によって結果的に認識対象として登録した画像の枚数が減ることも、先行研究の方法と比較して、複数図形の認識を行っても問題になるほどの誤認識が起きない要因になっていると考えられる。

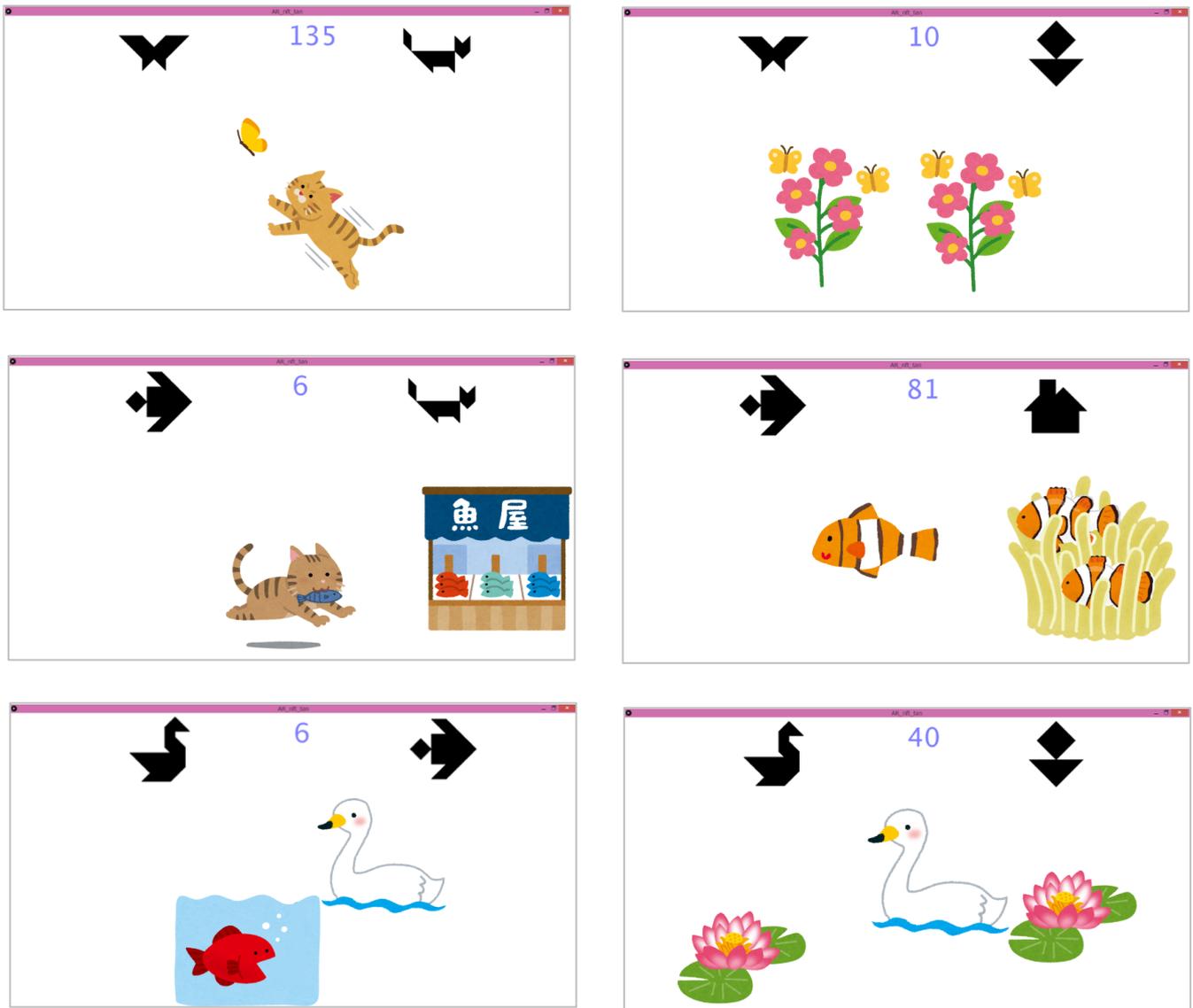


図 10 現在本システムでサポートしている図形の組み合わせとコンテンツ

4.3 コンテンツの投影

現在本システムで投影される映像コンテンツは、図 9 に示した基本図形に対応した 6 種類の個別アニメーションと、それらの基本図形 2 つによる組み合わせのうち、図 10 に示した 6 つのパターン（「蝶と猫」、「蝶と花」、「魚と猫」、「魚と家」、「白鳥と魚」、「白鳥と花」）に対応した 6 種類の簡単なアニメーションである。

組み合わせパターン用の投影コンテンツは、個別のものとは別に作成されて登録されている。これらは、例えば、「蝶と猫」の場合は「蝶を猫が追いかける」、「蝶と花」の場合は「花のまわりを蝶が舞う」というように、図形同士の関係を考えてそれぞれデザインされている。

本研究の趣旨としては、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が、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 Web サイト「いらすとや」[16]からダウンロードした画像を利用して簡単なアニメーションを作成した。

5. 本システムの使用例

図 11 は本システムを使用例である。この例では「猫と魚」の組み合わせでタングラムを組み立てている。

まず、システムを開始すると、テーブル上に 2 つのシルエットが指示される（これらは、プレイヤーがキーを押すことで切り替えることもできる）。プレイヤー（1 人または 2 人）は、それぞれのシルエットの下の領域でタングラムを並べて、試行錯誤をしながら図形を組み立てる。

片方の図形が完成するとそれに対応したコンテンツ（アニメーション）が表示され、もう片方が完成すると（組み合わせに対応したコンテンツがある場合）、表示が切り替わって 2 つの図形の組み合わせに対応したコンテンツが表示される。この場合は、猫単独のアニメーションが、猫が魚屋から魚をくわえて逃げるアニメーションに切り替わる。

なお、上部中央に表示されている数値は、タングラムを組み立て始めてからの経過秒数である。

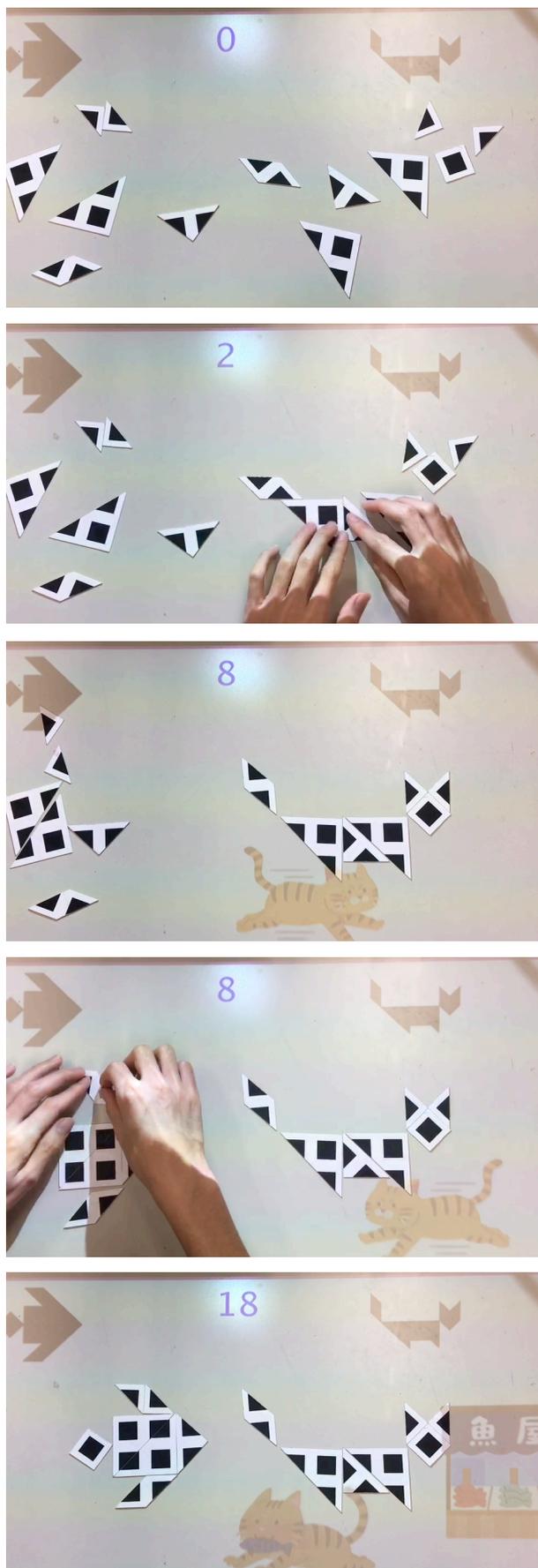


図 11 本システムの実行情例（魚+猫）
上部中央に表示されている数値は経過秒数

6. おわりに

本研究では、我々の先行研究[7]を発展させ、複数のタングラムに対応させることで、遊びの中で子供同士の活発なコミュニケーションを促し、学習効果を向上させることを狙った図形パズルを開発した。本システムは、複数のプレイヤーがテーブル上で協力または分担して、複数のタングラムを組み立てると、完成した図形の組み合わせに応じてストーリー性のある映像コンテンツが投影される。

また、図形の認識方法についても改良し、タングラムのピースの図形的な対象関係等に着目し、同じ図形をピースを入れ替えてを作った場合でも、完成図形が認識できるような模様をつける方法を考案した。

本システムを試験的に何人かの学生に使用してもらったところ、昨年同様、通常のパズル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調査は今後の課題であるが、そのためには、投影コンテンツの充実や洗練が必要であると考えている。

参考文献

- [1] J. 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
- [5] B. G. Zapirain, A. M. Zorrilla, S. Larrañaga: Psycho-Stimulation for Elderly People Using Puzzle Game, Proc. 2nd IEEE Consumer Electronics Society's Game Innovations Conference, 2010.
- [6] M. F. Pascual, B. G. Zapirain, A. M. Zorrilla: Improvement in Cognitive Therapies Aimed at the Elderly Using a Mixed-Reality Tool Based on Tangram Game, Proc. GDC, IESH and CGAG 2012, Held as Part of FGIT 2012, pp.68-75, Springer, 2012.
- [7] 笠井嘉将, 山田雄太, 塩澤秀和: コンテンツの投影による教育用図形パズルの開発, 情報処理学会第101回GN研究会, Vol.2017-GN-101, No.12, pp.1-6, 2017.
- [8] 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.
- [9] H. Koike, Y. Sato, Y. Kobayashi, H. 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.
- [10] ppp: TSUMIKI, 2011. <http://ppp.tokyo.jp/works/tsumiki>
- [11] SEGA: えーでるすなば, 2014. <http://edel-sand.sega.jp>
- [12] B. Piper, C. Ratti, H. Ishii: Illuminating Clay: A 3-D Tangible Interface for Landscape Analysis, Proc. ACM CHI 2002, 2002.
<http://tangible.media.mit.edu/project/sandscape/>
- [13] 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>
- [14] Tangible Play: Tangram - Osmo, 2014.
<https://www.playosmo.com/en/tangram/>
- [15] NyARToolKit Project: NyARToolkit for Processing 3.0.2, 2016.
http://nyatla.jp/nyartoolkit/wp/?page_id=166
- [16] いらすとや: <http://www.irasutoya.com>