

折り紙と3DCGを用いた 論理的思考教材の開発に関する研究

伊藤 迅^{1,a)} 齋藤 吉平^{1,b)} 水野 慎士^{1,c)}

概要：折り紙と3DCGを用いた未就学児から小学校低学年生論理的思考教材の開発を行った。論理的思考教育において一般的なビジュアルプログラミングやロボット教材と折り紙を組み合わせることで、従来の教材よりも子供が取り組みやすかつ教育効果の高いものを目指した。システムを実装して、ワークショップを実施することで開発した教材の有用性の検証を行った。

1. はじめに

情報化の進展により情報技術を手段として活用していく力が重要となった。そのため小学校ではプログラミング教育が必修化された。小学校プログラミング教育の手引(第3版)[1]によると、プログラミング技能を習得したりプログラミング言語を覚えたりすることよりも、プログラミング的思考を育むことを狙いとしている。

そこで、子供向けの論理的思考教材がいくつか開発されている。例えば、Scratch[2]のような簡単にプログラムを組み立てることができるビジュアルプログラミング教材やMarty the Robot[3]のようにプログラミングだけでなく組み立てを行いながらビジュアルプログラミングを行うことができる教材がある。しかし、Scratchは対象年齢が8歳以上となっており、未就学児など低年齢の子どもには難易度が高い。また、ロボット教材は組み立てが難しいことやコストがかかってしまうということに加えて、ロボットに対する興味について男女差があることも課題として挙げられる[4]。そのため、未就学児や小学校低学年生が対象で、性別に関係なく興味を持ってもらえる論理的思考教材は数少ない。

そこで本研究では未就学児や小学校低学年生を対象として、折り紙と3DCGを用いた論理的思考教材を開発した。折り紙で作成した動物を3DCGシーンに取り込み、簡単なビジュアルプログラミングを使用して3DCGシーン内の折り紙を制御する過程で、論理的思考を促進することを目指している。

折り紙には模倣性、再現性、創造性といった教育効果があることに加え手指能力の向上や脳の活性化を促す効果もあると期待されている[5]。また折り紙ならばロボットと比べ作成が容易であり男女を問わず興味を引くことができる。そして紙1枚あれば取り組むことができるためコストがかからない。さらに、作成した折り紙を3DCGシーン内で制御することにより、現実のロボットでは難しい飛び回る動きなどが可能になる。このようなインタラクティブな要素が子供の想像力を刺激して、教育効果の向上の可能性が高まることが期待される。

また、折り紙には決まった折り方があるため、お手本通りに折れば同じ動物であれば同じような出来上がりとなる。そのため、折り紙の動物は識別がし易いという実装上のメリットもある。

2. 開発教材の概要

図1に開発した教材による体験の流れを示す。初めにユーザは折り紙で動物を作成する(図1(a))。次に作成した折り紙をカメラで取り込むことで、3DCGシーン内にCG折り紙動物が登場する(図1(b))。CG折り紙動物が登場した後は、ユーザはタブレット上でビジュアルプログラミングを行うことで、移動や回転、飛行など単純な基本動作命令を組み合わせた一連の動作を作成する(図1(c))。最後に作成した動作を適用すると、自分のCG折り紙動物は作成した動作に従って3DCGシーン内で動き始める。

3DCGシーン内には複数のCG折り紙動物を配置することができる。各折り紙には固有のIDが割り振られており、タブレットにIDを入力することでプログラミングによって制御する折り紙を選択することが可能である。そのため、複数人のユーザが同時にプログラミングとCG折り

¹ 愛知工業大学

a) b22702bb@aitech.ac.jp

b) x21046xx@aitech.ac.jp

c) s.mizuno@aitech.ac.jp



図 1 開発教材の体験の流れ



図 2 折り紙領域抽出のための輝度に変化する背景を用いた撮影システム

紙動物への動きの適用を行うことが可能である。

動物の折り方には様々な種類があるが、特定の折り方についてはカメラで取り込んだ際に識別を行っている。そして、識別結果によっては同じ動作命令であっても動作結果が変化する。また、CG 折り紙動物が三次元モデルとして登場したり、鳴き声に変化したりする。

3. 実現手法

3.1 CG 折り紙動物の生成について

この教材ではユーザは自由に動物の折り紙を作成する。使用する折り紙の色も自由で、ペンを使用して目や口などの模様を描いてもよい。折り紙が完成した後、Web カメラで折り紙を撮影して、撮影された画像から CG 折り紙動物を作成する。「つる」や「かえる」は完成時には立体的であるが、撮影時には平面的に折り畳まれた状態で撮影を行う。

CG 折り紙動物の作成には撮影した画像から折り紙部分を抽出する必要がある。ここで、折り紙の色は様々であり、一般的なお絵描きと異なり領域境界に輪郭線が描かれていることもないため、特定の色抽出や輪郭抽出に基づいた折り紙領域の抽出は困難である。そこで、本研究では連続的に明るさが変化するディスプレイを背景にして折り紙を撮影するシステムを開発した(図 2)。この手法では、背景の明るさが異なる複数の画像を撮影して、色が変わらない部分のみを切り抜くことで折り紙領域を抽出する。

動物の折り紙のうち、特定の種類については識別を行う。本稿の教材は未就学児や小学校低学年生が対象であるため、現状は 3 才から 7 才向けの折り紙教本 [6][7] などから



図 3 事前に用意した「つる」と「かえる」の 3D モデル

選択した「つる」「かえる」「ねずみ」「きつね」「とり」「ペンギン」を識別対象としている。識別は抽出された折り紙領域に対して行っており、AKAZE によるパターンマッチング、領域輪郭円形度、領域縦横比を組み合わせた手法を用いている。識別結果で「つる」と「かえる」と判定された場合、使用している折り紙の色を判定するとともに、それぞれ事前に用意した 3D モデルに判定色を適用することで 3D の CG 折り紙動物を生成する(図 3)。それ以外の動物と判定されたり、識別対象とは判定されなかった折り紙については、矩形に折り紙の領域画像をテキストチャタリングすることで 2D の CG 折り紙動物を生成する。

生成された CG モデルには固有の ID が割り振られたあと、3DCG シーン内に配置される。折り紙の作成と撮影を繰り返すことで 3DCG シーン内の折り紙の数は増加していく。

3.2 CG 折り紙動物の制御のためのビジュアルプログラミング

本稿の教材では CG 折り紙動物の動きはタブレット上でビジュアルプログラミングを行うことで制御する。図 4 にビジュアルプログラミングのインターフェースを示す。このインターフェースは Web ベースで実装されており、サーバに接続することで利用することができる。接続時に固有 ID を入力することで、ビジュアルプログラミングインターフェースは 3DCG シーン内の 1 体の CG 折り紙動物と接続される。そのため、複数人のユーザが同時にサーバにアクセスして個別にビジュアルプログラミングを行うことも可能である。

ユーザはインターフェース上で単純な基本動作とそのパラ

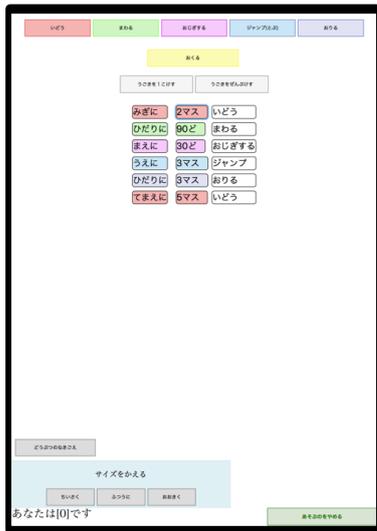


図 4 タブレット上のビジュアルプログラミング

メータを設定できるブロックを複数並べていくことで、CG折り紙動物に複雑な動きを与えることができる。基本動作としては「いどう」「まわる」「おじぎする」「ジャンプ」「おりる」を用意している。

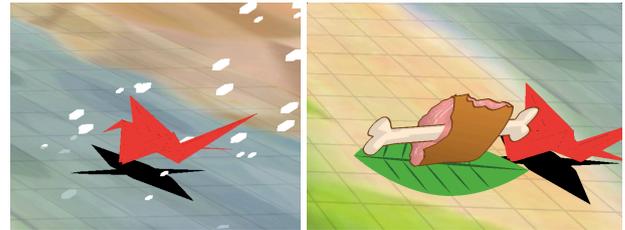
「いどう」はユーザはパラメータとして方向(右, 左, 手前, 奥)と距離を与えることができる。「まわる」はパラメータとして方向(右, 左)と角度を与えることができる。「おじぎする」はパラメータとして方向(前方, 後方)と角度を与えることができる。

「ジャンプ」はパラメータとして方向(真上, 右, 左, 手前, 奥)と距離を与えることができるが、CG折り紙動物の識別結果によって動作が変化する。具体的には、「つる」または「とり」と判定された場合には、CG折り紙動物は上昇してその場に留まる。一方、それ以外の動物と判定された場合には、CG折り紙動物は上昇してからすぐに地面に着地する。そして、「おりる」は「つる」と「とり」だけに有効であり、パラメータとして方向(真上, 右, 左, 手前, 奥)と距離を与えることができる。その他の動物に対しては「おりる」は無効となる。

3DCGシーンにはCG折り紙動物の動きに対応したいくつかのギミックを用意している(図5)。例えば、水辺でジャンプすると効果音とともに水しぶきが上がる。また、食べ物のお辞儀をすると、食べ物は食べられて小さくなる一方でCG折り紙動物は成長して大きくなる。このようなギミックを組み込むことで、ユーザはCG折り紙動物を自由に動かすだけでなく、目的を持って動かすこともできる。これは論理的思考教育に役立つことが期待される。

3.3 インタラクションやその他の動作

ビジュアルプログラミングインターフェースには、鳴き声を鳴らすボタンを用意している。インターフェースが接続している動物が「つる」や「ねずみ」など識別対象であっ



(a) 水しぶきを上げる (b) 食べ物を食べる

図 5 ギミックの例

た場合、判定結果に基づいた動物の鳴き声が再生される。それ以外の動物の場合にはランダムな動物の鳴き声が再生される。

3DCGシーンに登場するCG折り紙動物には上限数が設定されている。上限数を超えると、新しいCG折り紙動物が登場するたびに一番古いCG折り紙動物が退場していく。現在の上限は20である。また、しばらくユーザが操作していないCG折り紙動物は自動的にアクションを開始するので、ユーザはその様子を楽しむことができる。このコンテンツを通じて、ユーザは他のユーザとCG折り紙動物を共有して鑑賞することができ、創作だけでなくコミュニケーションを促進することが期待できる。

4. ワークショップの実施

本稿で提案した教材は、折り紙取り込みシステム、3DCGシーンシステム、Webベースのビジュアルプログラミングシステムで構成されている。すべてのシステムは1台のMacBookProで実装しており、折り紙取り込みシステムと3DCGシーンシステムはC++でOpenCVとOpenGLを用いて実装して、WebベースのビジュアルプログラミングシステムはHTML, PHP, JavaScriptを用いて実装した。

そして、作成した教材を用いて2023年5月27日、28日にワークショップを実施した。ワークショップには2日間で約300人の子供たちが参加した。各参加者の体験時間は正確に計測できなかったが、折り紙が5分から10分、プログラミングが10分から30分くらいであった。図6にワークショップの様子を示す。

ワークショップ終了後、4歳から12歳までの183人の子どもたちからアンケートの回答を得た。参加者の年齢構成および男女構成を図7に示す。また、ワークショップ自体の楽しさについてのアンケート結果を表1に示す。参加者の男女比率はほぼ等しく、ワークショップに対する楽しさの感じ方も性別に関わらずほぼ全ての参加者が「とても楽しかった」「楽しかった」と回答した。そのため、本研究で提案した折り紙を用いた論理的思考教材は男女の差がなく受け入れられたと考えられる。

表2にプログラミングの難易度に関する年齢別のアンケート回答結果を示す。全体では「とても簡単」「簡単」と回答した参加者は65%(119人)で、「難しい」「とても難し

表 1 コンテンツの楽しさに関するアンケート結果

	楽しさの程度					
	とても楽しかった	楽しかった	どちらでもない	楽しくなかった	とても楽しくなかった	無回答
男子	73人	10人	0人	0人	0人	1人
女子	83人	8人	0人	1人	0人	1人
無回答	5人	1人	0人	0人	0人	0人



(a) 折り紙を折っている様子



(b) タブレット上でビジュアルプログラミングを行う様子

図 6 本コンテンツを使用したワークショップの様子

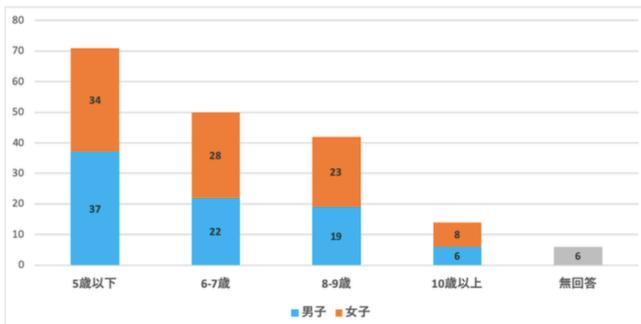


図 7 ワークショップ参加者の年齢構成および男女構成

い」と回答した参加者は 27%(50 人)であった。年齢別で見ると、未就学児および小学校低学年生(7 歳以下, 121 人)では、「とても簡単」「簡単」で回答した参加者は 59%(71 人)で、「難しい」「とても難しい」と回答した参加者は 34%(41 人)であった。一方、8 歳以上の参加者(56 人)では、「とても簡単」「簡単」と回答した参加者は 77%(43 人)で、「難しい」「とても難しい」と回答した参加者は 16%(9 人)であった。この結果から、本研究の教材はターゲットとしている未就学児および小学校低学年生にとっては中程度の難易度で、それより上の年齢層にとっては難易度は低かった

と思われる。

表 3 に CG 折り紙動物の制御に関する年齢別のアンケート回答結果を示す。全体では「できた」「少しできた」と回答した参加者は 86%(158 人)で、「できなかった」「あまりできなかった」と回答した参加者は 13%(23 人)であった。年齢別で見ると、未就学児および小学校低学年生(7 歳以下, 121 人)では、「できた」「少しできた」と回答した参加者は 86%(104 人)で、「できなかった」「あまりできなかった」と回答した参加者は 14%(17 人)であった。一方、8 歳以上の参加者(56 人)では、「できた」「少しできた」と回答した参加者は 89%(50 人)で、「できなかった」「あまりできなかった」と回答した参加者は 7%(4 人)であった。この結果から、教材の難易度が高かったと回答した参加者でも結果的には CG 折り紙動物を思い通りに制御できていることがわかる。特に、未就学児および小学校低学年生でプログラミングが「難しい」「とても難しい」と答えた 41 人のうち、29 人は CG 折り紙動物の制御を「できた」「少しできた」と答えている。98%以上の参加者が本教材が楽しかったと答えていることから、多少難易度が高くてもモチベーションを保ったままプログラミングをがんばることができたことが考えられる。

5. まとめ

本研究では、折り紙と 3DCG を用いた未就学児および小学校低学年生向けの論理的思考教材を開発した。折り紙で動物を作成して、それを 3DCG シーンの中に CG 折り紙動物として表示してから、ビジュアルプログラミングで動作を生成・制御するものである。本教材は折り紙の制作とビジュアルプログラミングという異なる教育要素を組み合わせることで新たな教育効果を提供しながら、未就学児や小学校低学年生でも取り組んでもらえるデジタル教育教材を目指した。ワークショップのアンケート結果から、性別に関係なく多くの子供たちに受け入れられる可能性があることが確認できた。

今回実施したワークショップでは本研究の教材が子供たちに受け入れられることは確認できたが、教育効果の有無までは検証できていない。そのため、今後の課題としては本教材の教育効果を検証およびその結果に応じた教材の改良が挙げられる。また、条件分岐などより複雑なプログラミング要素の導入や、折り紙のデザインが子供たちの想像

表 2 年齢別のプログラミングの難易度に関するアンケート結果

	難易度の評価					
	とても簡単だった	簡単だった	どちらでもない	難しかった	とても難しかった	無回答
5歳以下	24人	15人	7人	16人	9人	0人
6～7歳	26人	6人	2人	13人	3人	0人
8～9歳	22人	10人	4人	5人	1人	0人
10歳以上	10人	1人	0人	2人	1人	0人
無回答	5人	0人	1人	0人	0人	0人

表 3 年齢別の CG 折り紙動物の制御に関するアンケート結果

	評価					
	できた	少しできた	どちらでもない	あまりできなかった	できなかった	無回答
5歳以下	40人	20人	0人	9人	2人	0人
6～7歳	29人	15人	0人	3人	3人	0人
8～9歳	30人	8人	1人	1人	1人	1人
10歳以上	11人	1人	0人	2人	0人	0人
無回答	3人	1人	0人	1人	1人	0人

力や空間認識力に与える影響を探ることも今後の課題である。

謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費基盤研究 (C)22K12337 および (C)23K11182 の支援を受けています。

参考文献

- [1] 文部科学省: 小学校プログラミング教育の手引 (第三版), 入手先 (https://www.mext.go.jp/content/20200218-mxt_jogai02-100003171_002.pdf) (2023.12.18).
- [2] MIT Media Lab: MIT Scratch, 入手先 (<https://scratch.mit.edu/>) (2023.12.18).
- [3] Robotical: Marty the Robot, 入手先 (<https://robotical.io/?currency=USD>) (2023.12.18).
- [4] 学研教育総合研究所: 小学生白書 Web 版 (2018 年 9 月調査) 小学生の日常生活・学習・自由研究等に関する調査, 入手先 (<https://www.gakken.jp/kyouikusouken/whitepaper/201809/chapter7/08.html>) (2023.12.18).
- [5] 五十嵐裕子: 折り紙の歴史と保育教材としての折り紙に関する一考察, 浦和大学・浦和大学短期大学部 浦和論叢 第 46 号 2012-2.
- [6] 大迫ちあき, 津留見 裕子: おりがみ百科 3・4・5 才 楽しく算数センスが身につく!, 世界文化社 (2017).
- [7] 大迫ちあき, 津留見 裕子: おりがみ百科 5・6・7 才 図形力と考える力が身につく!, 世界文化社 (2017).