

処理による状態の変化を体験的に学ぶ AR 教材の提案

島袋舞子^{1,a)} 小林史弥¹ 久保友広¹ 兼宗 進^{1,b)}

概要: プログラミングの学習では、順序・分岐・反復といった処理の流れを理解することに加えて、処理によって変数などの状態がどのように変化するかを理解することが必要である。本研究では、国際情報科学コンテスト「ビーバーチャレンジ」の、2009 年度の小学生から高校生までの共通問題である「虹色の玉子」に着目した。この問題では、「色水に浸けることで玉子を染色する」処理と「玉子の上下を逆さにする」処理を組み合わせることで玉子を染色することで、プログラムにおける処理とその結果としての状態の変化を表している。しかし、一連の処理を頭の中だけで考えることは容易ではないことから、段階的に学習をおこなうための紙のワークシートを作成するとともに、タブレットを用いて処理を確認するための AR 技術を用いた教材アプリケーションを開発した。教材の概要と、それらを利用した子ども向けの実践について報告する。

SHIMABUKU MAIKO^{1,a)} KOBAYASHI FUMIYA¹ KUBO TOMOHIRO¹
KANEMUNE SUSUMU^{1,b)}

1. はじめに

現在、我が国では次期学習指導要領の実施に向けてプログラミング教育の準備が進められている。国外におけるプログラミング教育の調査結果 [1] やプログラミング教育実践ガイド [2] を公開するなど、プログラミングの教育手法や教育教材などが検討されている。

プログラミングの学習では、順序・分岐・反復といった処理の流れを理解することに加えて、処理によって変数などの状態がどのように変化するかを理解することが必要である。変数が処理によってどのように状態が変化するのは、プログラムを理解する上で重要であるが、必ずしも容易ではない。

そこで本研究では、拡張現実感を取り入れることで初等教育段階の児童・生徒が、プログラムにおける処理の流れや状態の変化について体験的に学習するための教材の実現を目的とする。

2. プログラミング教育

現在、プログラミングは初等中等教育段階において中学

校の技術・家庭科（技術分野）と高等学校の共通科目「情報」などで扱われている。現行の中学校学習指導要領 [3] では、「D 情報に関する技術」における「(3) プログラムによる計測・制御」に定められており、ここでは「計測・制御のためのプログラムの作成を通して、コンピュータを用いた計測・制御の基本的な仕組みを知り、簡単なプログラムの作成ができるようにするとともに、情報処理の手順を工夫する能力を育成する」と説明されている。また、高等学校学習指導要領 [4] では、「情報の科学」の「(2) 問題解決とコンピュータの活用」に定められており、「問題の解法をアルゴリズムを用いて表現する方法を習得させ、コンピュータによる処理手順の自動実行の有用性を理解させる」と説明されている。次期学習指導要領では、小学校段階からプログラミングを扱うことになっており、現在 2010 年の実施に向けて、プログラミング教育の実践と検討がされている [5][6]。

初等中等教育段階におけるプログラミングの学習は多くの場合、順序・分岐・反復といった処理の流れの理解に重きをおいている。一方で、プログラムを理解する上で重要な要素が他にも存在する。その一つに処理による状態の変化がある。実行された処理によって変数などの状態が変化する。また、変数などの状態によって処理が変化することで様々な処理がおこなわれている。変数の状態を把握することは、プログラムがどのような処理をおこなっているの

¹ 大阪電気通信大学
Osaka Electro-Communication University, Shijonawate, Osaka 575-0063, Japan

a) shimabuku.m@gmail.com

b) kanemune@gmail.com

かを理解することに繋がる。

3. プログラミング教育に関する先行研究

3.1 変数の可視化

プログラミングにおける状態の変化について学習する際に多く行われているのは、変数の値の可視化である。実行画面に変数の値を表示する [7] ものや、独自の開発環境上に実行中のプログラムで用いる全ての変数の値を表示し、変数の状態を見てわかるようにしている場合もある [8]。

このように、変数の状態の変化を可視化することによって変数の状態を把握することができる。それによりプログラムがどのような処理をおこなっているのかわかる。一方で、変数の値がどのように変化したかをよく考えないまま、表示される変数の値を見て処理を把握している場合がある。

3.2 教具を活用した学習

紙製のカードを使用した活動を通して、変数の状態について考える教材も存在している。CodyRoby[9]では、紙製のカードや紙に印刷されたロボットを使って活動をおこなう。学習は二人一組でおこない、一人はカードを並べてロボットに指示を与え、もう一人は置かれたカードを順番に実行し、手でロボットを動かしていく。スタートからゴールまでのロボットの通る道はカードを置き、自ら作成する。CodyRobyでは、ロボットの向きの状態を考えながら、相互に実行していく。

活動を通して処理の流れと変数の状態の変化を考えさせることができる一方で、処理を実行する際に変数の状態を考えずに手続的に実行してしまう場合がある。

3.3 クイズ問題を活用した学習

問題を解くことを通して、学ぶ教材も存在している。国際情報科学コンテスト「ビーバーチャレンジ」(以下、ビーバーチャレンジ)とは、小中高の児童・生徒を対象とした国際情報科学コンテストである [10][11]。ビーバーチャレンジは、情報科学に関する親しみやすい問題に取り組むことで、情報科学と情報活用に対する興味を持たせることを目的としている。問題は学年区分ごとに応じて出題され、日本では年齢・学年別に以下の4つの学年区分に分けられる。

- Benjamin(10~12歳) : 小学校5・6年生
- Cadet(13~14歳) : 中学校1・2年生
- Junior(15~16歳) : 中学校3年生, 高等学校1年生
- Senior(17~18歳) : 高等学校2・3年生

問題は各学年区分ごとに各国共通で必ず出題する必須問題と国ごとに選択して出題できる選択問題を組み合わせて出題される。問題は表1に示すように内容によって6つのカテゴリーに分類されている。

問題はオンラインで出題され、参加者はコンピュータを用いてコンテストサイトにアクセスし、出題される問題に

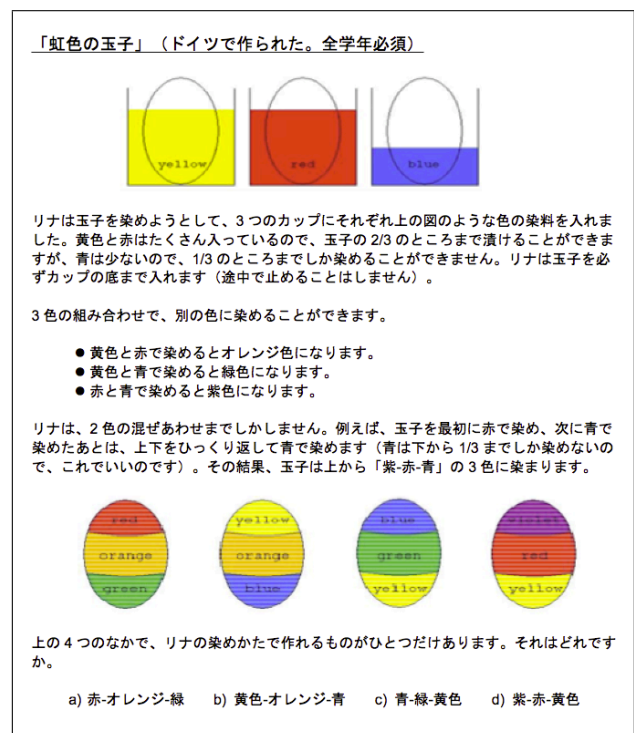


図1 虹色の玉子

取り組む。解答時間は30分から45分で問題数は10問から20問程度の問題が出題される。解答は基本的に4択形式となっている。

コンテストとして実施されている一方で、出題された問題を活用した授業が検討され、中学校や大学で実践がおこなわれている [12][13][14]。

4. 拡張現実感を利用した学習教材

4.1 新しい学習教材の必要性

ビーバーチャレンジで2009年に出題された問題の一つに「虹色の玉子」がある(図1)。色がつけられた玉子の中から、定義された染色ルールに基づいて、染色可能な玉子を選ぶ問題である。定義された染色ルールは次の5つである。

- 玉子の色は下から染めていく
- 黄色、赤色、青色の3色から選ぶ
- 色によって、玉子を着色する範囲が異なる
 - 「赤」と「黄色」は2/3、「青」は1/3
- 2色が重なった部分は別の色になる
 - 「赤」と「黄色」なら「オレンジ」
 - 「黄色」と「青」なら「緑」
 - 「青」と「赤」なら「紫」
- 玉子は上下逆さにすることができる

これらの「色水に浸けることで玉子を染色する」処理(a, b, c, d)と「玉子の上下を逆さにする」処理(e)を組み合わせると玉子を染色することで、プログラムにおける処理とその結果としての状態の変化を表している。この問題を解くためには、処理内容の理解と処理による玉子の状態の変

表 1 問題のカテゴリ

| カテゴリー | 説明 | 例 |
|--------|---------------|---|
| 情報 | 情報に関する理解 | 情報表現 (シンボル, 数値, 視覚), 符号化, 暗号化 |
| アルゴリズム | アルゴリズム的思考 | プログラミングに関するものを含む |
| 利用 | コンピュータシステムの利用 | サーチエンジン, 電子メール, 表計算など (特定の環境にかかわらない内容で) |
| 構造 | 構造・パターン・配置 | 組み合わせ, 離散構造 (グラフなど) |
| パズル | パズル | 論理パズル, ゲーム (マスターマインド, マインスイーパーなど) |
| 社会 | ICT と社会 | 社会, 倫理, 文化, 国際, 法律と関わる問題 |

化を想像できる必要がある。

ビーバーチャレンジの問題は学校の授業で使用するために作成された問題では無いため、授業で扱う際には授業環境や学習者の特性に配慮した工夫をおこなう必要がある。「虹色の玉子」を授業で使用する場合、次のような課題が存在する。

- (1) 染色ルールを問題文から読み取る必要がある
- (2) 処理の順序や玉子の状態によって処理結果が異なるため、一連の処理を頭の中だけで考えることが難しい
- (3) 個人で問題に取り組むことを想定しているため、複数人で問題に取り組むことができない
- (4) 問題に取り組むだけで、プログラミングの体験ができない

(1) の課題を解決するには、それぞれの処理内容とその結果を例示すればよい。(2) は一連の処理を段階的に学習できるようにすればよい。(3) は紙製のワークシートやカードなどの教具を使用し、複数人で活動が可能な教材にすればよい。(4) はコンピュータを使用することで解決できる。

4.2 新しい学習教材の提案

そこで、一連の処理の内容を例示したワークシート、処理の内容と処理の実行結果を表すカードを使い、一連の処理を段階的に学習後、カードをタブレット端末で読み込み、画面上で処理を実行することで課題を解決できると考えた。ワークシートとカードを利用することで、複数人で問題に取り組むことができる。ワークシート上に処理の内容を表すカードを置いた後、その処理による結果を示すカードを置いていくことで、処理の流れ、処理による状態の変化と状態による処理結果の違いを考えさせると同時に、それらを意識させる。その後、アプリケーションにより、処理の流れ、処理による状態の変化を確認できるようにする。

教具を実現するために、拡張現実感 (Augmented Reality) 技術 (以下、AR) を利用する。紙製のワークシートとカードによる学習後、処理の内容を表すカードをマーカーとして読み込み、タブレット端末の画面上で実行する。カードをマーカーとして利用することで、簡易的なプログラミング体験が可能となる。また、学校で普及が進められている [15] タブレット端末で動作することで、場所を選ばなく学習をおこなうことができる。

4.3 学習教材の検討

教材を実現するためには、玉子の染色するための一連の処理を段階的に考えさせるための紙製のワークシートとカード、カードを読み込みタブレット画面上で実行するアプリケーションが必要である。それぞれに必要な内容と機能は次のとおりである。

1. ワークシート
 - (a) 染色ルールを例示する
 - (b) カードを置く場所を明示する
2. カード
 - (c) それぞれの処理の内容を表す
 - (d) 処理の結果を表す
3. アプリケーション
 - (e) カードをマーカー (命令) として認識する
 - (f) 画面にカップと玉子を 3D 表示する
 - (g) 玉子のアニメーション実行する

(a) は「問題から処理内容を読み取る必要がある」点の解決を目的とした内容である。処理の内容とその結果を例示することで、問題文から読み取る必要なく、内容を把握することができる。また、(b) により、順序よく命令が実行されるといった処理の流れを意識させることができる。(c) は「色水に浸けることで玉子を着色する」処理と「玉子の上下を逆さにする」処理を表すカードである。カードの絵柄から処理の内容が伝わるようにする。(d) は考えられる全ての染色パターンで着色された玉子が描かれたカードである。ワークシートに記述された指示に従い、(c) の処理を反映させた (d) のカードはどれかを考え、ワークシート上の指定された場所に置いていくことで段階的に一連の処理の流れと処理による状態の変化について考えさせることができる。(e)(f)(g) は、タブレット端末上で処理を実行するための基本機能である。命令を示すカードを並べた順に玉子を着色していく様子をアニメーションで見ることができる。色水の入ったカップに玉子が触れることで、玉子を着色していく。これにより、処理結果の確認と簡易的なプログラミングの体験ができる。

5. 新しい学習教材の開発

5.1 ワークシートとカードによる学習

処理の流れと処理による状態の変化を段階的に考えさせるための紙製のワークシートとカードを作成した。図 2 に

表 2 ワークシートで扱う内容

| シート | 扱う内容 | 順序 | 状態 |
|-----|--------------|----|----|
| A | 色をつける範囲 | △ | △ |
| B | 染色部分が上下反転 | ○ | △ |
| C | 2色が異なる部分のみ混色 | △ | ○ |
| D | 玉子全体に着色 | ○ | ○ |

作成したワークシートの一部、図 3、図 4 にカードを示す。図 3 は「色水に浸けることで玉子を染色する」、「玉子の上下を逆さにする」処理を示すカード（以下、命令カード）である。染色する命令カードには、それぞれの色水の入ったカップを描いた。カップの横に目盛りを書き、カップに入った色水の量を矢印で示すことで、玉子がどこまで染められるのかを表した。図 4 は考えられるすべての染色パターンで色がつけられた玉子が描かれたカード（以下、玉子カード）である。ワークシートは穴埋め式になっており、四角で囲まれたカード置き場に適切なカードを置いていく。また、玉子が描かれた枠には、玉子カードの中から前の処理によって着色されたものを選び、置く。処理の結果を考えさせることで、前の玉子の状態によって処理結果が異なるといった状態の変化を意識させることができる。ワークシートは 4 種類用意した。カードを置く順序の重要度、状態の変化の有無やその重みによって難易度を分け、シート A から順番に取り組むことで簡単なものから徐々に複雑な内容になるようにした。ワークシートで扱う内容を表 2 に示す。順序と状態の取り扱いは重みに応じて、△と○で示す。

シート A は、玉子の着色範囲について取り扱う。「赤」と「黄色」は玉子を下から 2/3 着色でき、「青」は下から 1/3 着色することができる。このシートで使用する命令カードと玉子カードは各 1 枚である。命令カードの順番による玉子の状態への影響はない、かつ玉子の状態の変化は単色のみであるため、どちらも重みがないため、△としている。シート B では、玉子が上下逆さになったときの玉子の状態について扱う。このシートでは、命令カードを置く順番によって状態が変化する。玉子の状態を考えずに手順的に考えることも可能であるため、状態を△とした。シート C では、色の混色について扱っている。2 色が重なる範囲のみが、特定の色に変化する。このとき、命令カードを置く順番は玉子の状態の変化に影響を及ぼさない。一方で、玉子が何色なのか、どの色に染められたかによって玉子の色は変化するため、順序を△、状態を○とした。シート D では、玉子全体を着色することを取り扱っている。練習 1 は色の混色が含まれないが、練習 2 は含まれる。どちらもカードを置く順番によって、玉子の状態が変化する。

また、全てのワークシートの左側に考え方を例示し、処理の内容を見てわかるようにした。

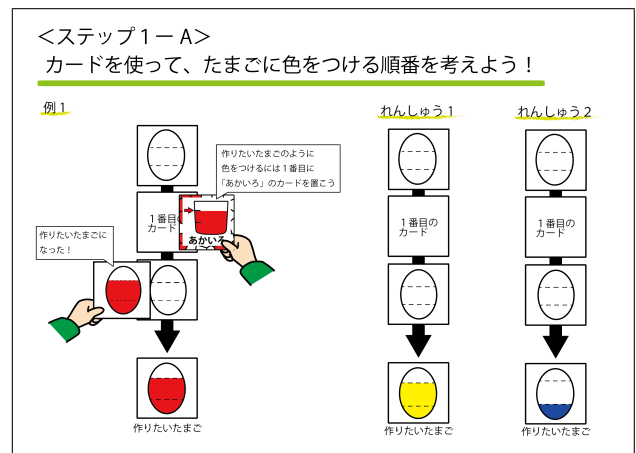


図 2 作成したワークシート A

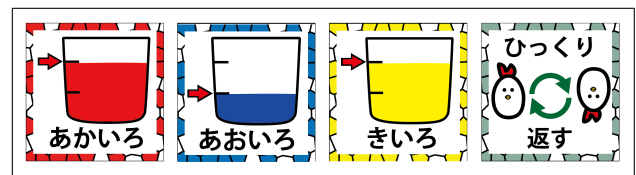


図 3 処理の内容を示すカード（命令カード）

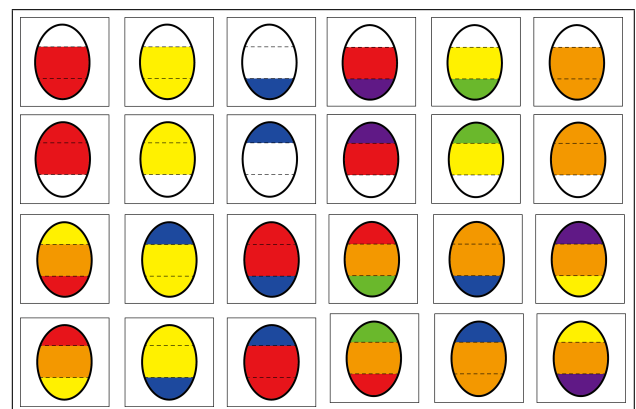


図 4 処理の結果を示すカード（玉子カード）

5.2 アプリケーションの開発

図 3 の命令カードを AR マーカーとして認識し、処理を実行するアプリケーションを開発した（図 5）。このアプリケーションを統合開発環境である Unity と AR ライブラリの Vuforia を利用し開発した。前節で述べた機能を以下のように実装した。

- (e) カードをマーカーとして認識し、読み取る
タブレット端末の背面にあるカメラで命令カードを写すと、マーカーとして読み込むようにした。
- (f) 画面にカップと玉子を 3D 表示する
命令カードをカメラで写すとタブレット端末の画面に 3D グラフィックスを表示するようにした。着色する命令カードの上にはそれぞれの色の液体が入った仮想のカップ、玉子を上下反転させる命令カードの上には回転する仮想の玉子を表示する。
- (g) アニメーション実行する

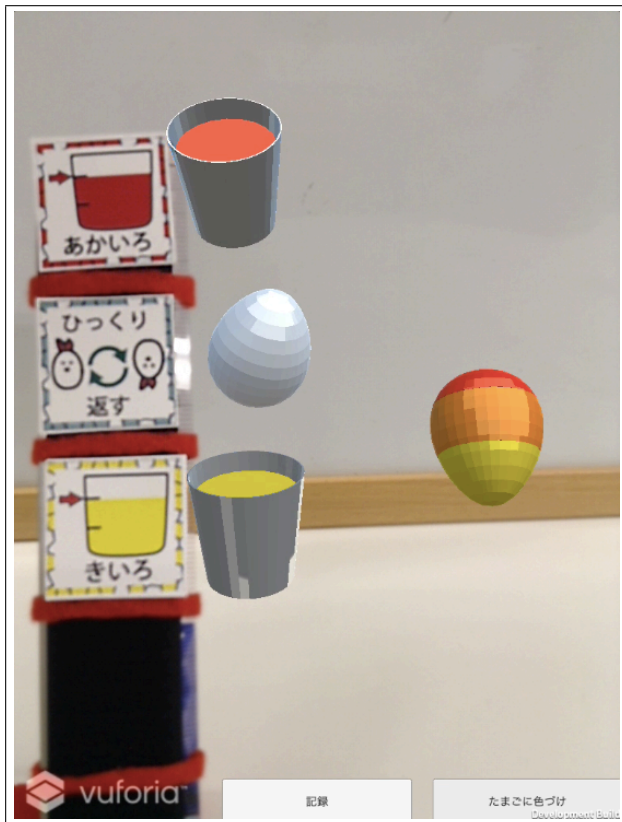


図 5 アプリケーションの実行画面

画面下部にある実行ボタンを押すと、玉子へ着色する様子をアニメーション実行するようにした。未着色の3D玉子を命令カード上に表示された3Dカップまたは3D玉子に触れることで、染色または上下反転する。AR技術を用いて、上の機能を実装することで教具を実現した。アプリケーションはワークシートと併用することで、正答の確認をする役割に加えて、ワークシートで学んだ玉子の「状態」を再度意識づけさせることができる。なぜなら、玉子の状態変化の様子をアニメーションで確認することによって、玉子の状態と命令カードを置く順序について、学びを深めることが可能になるためである。

6. 子ども向けイベントでの教材試用

6.1 実施内容

提案教材を子ども向け科学イベントで試用した。対象は3歳から10歳までの50名程度のイベントに参加した子どもたちである。子どもたちは2つのステップに分かれて提案教材を使用した。

Step1: ワークシートとカードによる学習

Step2: 教材を利用し、問題に取り組む

Step1では、ワークシートとカードを用いて学習をおこなう。まず、ワークシートとカードの使い方をワークシートに例示した内容を用いて説明をおこない、ワークシート上にある練習問題に取り組ませる。Step1が終わったら、Step2へ移る。Step2では、ワークシートとカード、アプリ

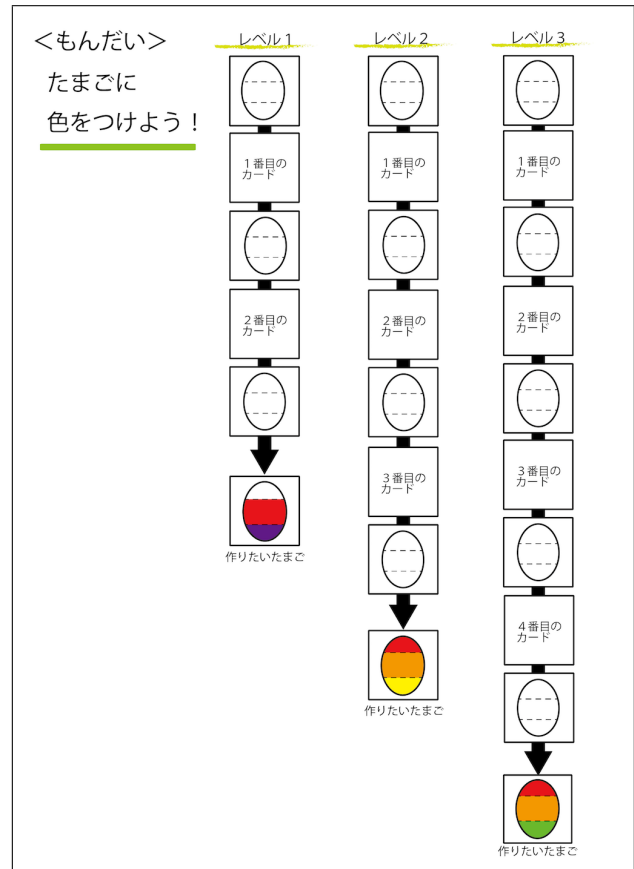


図 6 出題した問題

表 3 問題の難易度一覧

| | レベル 1 | レベル 2 | レベル 3 |
|-------------|-------|-------|-------|
| 染色範囲 | ○ | ○ | ○ |
| 2色の重なり (1回) | ○ | ○ | ○ |
| 2色の重なり (2回) | — | — | ○ |
| 玉子の回転 | — | ○ | ○ |

ケーションを用いて問題に取り組む。出題する問題を図6に示す。問題は表3に示す難易度の異なる3種類の問題を用意し、子どもたちがどこでつまづくのかを目視で確認する。子どもたちは、ワークシートとカードを使って考えた後、アプリケーションを使って玉子の状態の変化をアニメーションで確認する。アプリケーションを実行するタブレット端末はiPad2を使用した。アプリケーションの実行に使用するタブレット端末と命令カードは専用の台を用意し、それに置くことにした。

6.2 考察

子ども向け科学イベントで試用した結果、ほぼすべての子どもたちが問題を解くことができた。試用の様子を図7と図8に示す。図7はStep1でワークシートに取り組む様子である。取り組む際には、一緒に来場した親子や兄弟、友達同士で考え、意見を出し合いながら取り組む様子も見られたことから、複数人での活動も可能であることが示唆される。また、子どもたちはシートCにおいて誤った玉子



図 7 ワークシートによる学習をおこなう様子



図 8 問題に取り組む様子

カードを選ぶ傾向が見られた。「黄色を塗る」命令カードの後に「青を塗る」命令カードを置いた時、「上が白、真ん中が黄色、下が緑」の玉子カードを置くのが正しいが、「青色を塗る」命令カードを置いた後に、「上と真ん中が白、下が青」の玉子カードを置く子どもが多くみられた。これは、前の処理「黄色を塗る」命令カードの結果を考えずに、処理のみを実行してしまったためだと考えられる。このことから、子どもたちは玉子の状態が変化するという事に気づかなかつたといえる。今回 Step1 ではアプリケーションによる実行をおこなわなかったが、アプリケーションによる確認をおこなうことで、誤りに気づくことができたと考えられる。

図 8 は、Step2 で問題に取り組む様子である。ほぼすべての子どもたちが問題をすべて解くことができていた。その一方で、レベル 2 の問題において時間がかかる子どもたちが多かった。レベル 1 では、2 色の重なりを扱っているが、命令カードを置く順序によって玉子の色は変化しない。一方で、レベル 2 では命令カードを置く順序によって玉子の色が変化する。このことから、2 色が重なったときの色といった染色ルールは理解することができているが、玉子の状態を考えることは難しかったと考えられる。このとき、アプリケーションによる実行をおこなうことで誤りに気づき、再考する姿もみられた。

7. おわりに

本稿では開発した教材の概要と子ども向け情報科学イベントで試用した時の子ども達の様子を報告した。本提案教材を利用することにより、子どもたちは処理の流れと処理後の変数の状態、変数の状態による処理結果の違いについて意識することができたと考えられる。今後、定量的な評価をおこなっていきたい。

参考文献

- [1] 文部科学省: 諸外国におけるプログラミング教育に関する調査研究, 入手先<http://jouhouka.mext.go.jp/school/programming_syogaikoku/programming_syogaikoku.html> (参照 2016-02-06).
- [2] 文部科学省: 学校教育プログラミング教育実践ガイド, 入手先< http://jouhouka.mext.go.jp/school/programming_zirei/> (参照 2016-02-06).
- [3] 文部科学省: 中学校学習指導要領解説 (2008).
- [4] 文部科学省: 高等学校学習指導要領解説 (2009).
- [5] 小学校段階における論理的思考力や創造性, 問題解決能力等の育成とプログラミング教育に関する有識者会議 (2016): 小学校段階におけるプログラミング教育の在り方について (議論の取りまとめ), <http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/shotou/122/attach/1372525.htm> (参照 2017-01-20).
- [6] 総務省: 若年層に対するプログラミング教育の普及推進報告 2017, <<http://programming.ictconnect21.jp/>> (参照 2017-01-20).
- [7] Scratch: Scratch, <<https://scratch.mit.edu/>> (参照 2017-01-20).
- [8] 西田知博, 原田章, 中村亮太, 宮本友介, 松浦敏雄: 初学者用プログラミング学習環境 PEN の実装と評価, 情報処理学会論文誌, Vol.48, No.8, pp.2736-2747 (2007).
- [9] A. Bogliolo: Unplugged language-neutral card games as an inclusive instrument to develop computational thinking skills, INTED2015 Proceedings, pp.7609-7615 (2015).
- [10] Valentina Dagiene, Gerald Futschek: Bebras International Contest on Informatics and Computer Literacy: Criteria for Good Tasks, Lecture Notes in Computer Science, Vol.5090, pp.19-30 (2008).
- [11] Bebras: 「ビーバーチャレンジ」情報ページ, <<http://bebras.eplang.jp/>> (参照 2017-01-20).
- [12] 井戸坂幸男, 保福やよい, 久野靖, 兼宗進: 中学校における国際情報科学コンテスト Bebras の取り組み報告, Vol.2012-CE-113, No.1, pp.1-7 (2012).
- [13] 井戸坂幸男, 島袋舞子, 谷聖一, 兼宗進: 国際情報科学コンテスト Bebras の問題評価と活用の可能性, Vol.2014-CE-123, No.1, pp.1-8 (2014).
- [14] 中野由章, 兼宗進, 谷聖一: 国際情報科学コンテスト Bebras の問題分析と大学における情報教育への適用, Vol.2012-CE-113, No.17, pp.1-9 (2012).
- [15] 文部科学省: 学びのイノベーション事業 教育の IT 化に向けた教育整備 4 か年計画, <<http://jouhouka.mext.go.jp/school/innovation/>>(参照 2016-02-06).