

数学的要素を持つゲーム・パズルを題材とした創造性の分析

福井 昌則^{1,2,a)} 青木 徹^{3,b)} 黒田 昌克⁴ 萩倉 丈⁵ 柏木 麻理子⁶ 宮寺 良平⁶ 平嶋 宗^{1,c)}

概要: 本研究の目的は、数学的要素を持つゲーム・パズルを題材とし、高校生・大学生がどのように創造性を発揮するかについての分析を試みることである。数学的要素を持つゲーム・パズルとして、“コラッツ問題”を用い、高校生 21 名と大学生 38 名にコラッツ問題を解かせた上で変形・改良を行わせた。その結果、多くの学生・生徒の変形・改良は、分岐の条件変更、分岐後のアクションの変更がかなり多く、反復操作の変更などは少なかった。このことから、分岐に関する条件は変更しやすく、反復条件は変更困難な場合があることが示唆され、CT を活用した様々な変形・改良を身につけさせる上で、反復操作や他の要素を取り入れるような指導方法が有効であることが示唆された。今後、変形・改良を通じて創造性を育成するシステムの開発を行った際、学生・生徒に適切なりフレクションを与えるために、本研究の知見は重要となることが示唆された。

キーワード: 創造性, 変形・改良, 創造的活動, リフレクション, コンピューテシヨナルシンキング

Analysis of Creativity Using of Games and Puzzles Having Mathematical Structure

MASANORI FUKUI^{1,2,a)} TORU AOKI^{3,b)} MASAKATSU KURODA⁴ JO HAGIKURA⁵ MARIKO KASHIWAGI⁶
RYOHEI MIYADERA⁶ TSUKASA HIRASHIMA^{1,c)}

Abstract: The aim of this research is to try games and puzzles with mathematical structure and try to analyze how high school students and university students demonstrate their creativity. As games and puzzles with mathematical structure, we used the “Collatz Problem” and made 21 high school students and 38 college students change and improve by solving the Collatz Problem. As a result, many students changed the conditions of branching, changed the action after branching quite a lot, few changes of repetitive operation etc. From these, it is easy to change the branching condition, and it is difficult to change the iteration condition. It was suggested that teaching methods that incorporate repetitive manipulation and other factors are effective in acquiring various transformations and improvements utilizing CT. When developing a system to promote creativity, it was suggested that the findings of this study are important to give students and students adequate reflection.

Keywords: Creativity, Change, Improvement, Creative Activities, reflection, Computational Thinking

¹ 広島大学
Hiroshima University
² 日本学術振興会特別研究員 (DC1)
Research Fellowship for Young Scientists, Japan Society for the Promotion of Science
³ 立命館大学
Ritsumeikan University
⁴ 兵庫教育大学
Hyogo University of Teacher Education
⁵ 関西学院大学
Kwansei Gakuin University
⁶ 関西学院高等部

1. はじめに

本研究の目的は、数学的要素を持つゲーム・パズルを題材とし、高校生・大学生がどのように創造性を発揮するかについての分析を試みることである。

Kwansei Gakuin Senior High School

a) fukui@lel.hiroshima-u.ac.jp

b) ec0420kh@ed.ritsumeikan.ac.jp

c) tsukasa@lel.hiroshima-u.ac.jp

我が国の総人口は、2010年の1億2,806万人から長期の人口減少過程に入り、2030年の1億1,662万人を経て、2048(平成60)年には1億人を割って9,913万人、50年後の2060年には8,674万人になることが見込まれると報告されており [1]、労働生産性の向上させること [2] や、イノベーションを生み出す土壌を作り出すことが、これから人口が減って行く我が国において重要であると考えられる。もちろん、従来の教育において、長年に渡って創造性が重要であると指摘されて続けており、教育基本法にも創造性を育成することが重要であると明示されている [3]。その中で、創造性をどう育成するかについての研究は長きに渡って行われてきた。しかし、国内外の一般生徒の創造性についての実態について Adobe は、Z世代(12歳から18歳までの生徒)対象に調査を行い、日本の生徒と教師はいずれもZ世代を“創造的”であると捉えておらず(生徒:8%, 教師:2%)、将来の仕事で何らかの創作に携わっていると考えられる割合(43%)はグローバル(平均78%)に比べて低く留まっていること、卒業後の将来について、日本の生徒は主に不安な気持ち(53%)であり、生徒、教師ともに将来に向けて準備ができていない(生徒:84%, 教師:69%)と感じていることを報告している [4]。世界経済フォーラムによれば、我が国のIT競争力ランキングは世界で10位、アジア内で2位である一方、Business and innovation environmentは33位であり、創造性やイノベーションを生み出す環境に弱点があると分析している [5]。このことから、我が国において創造性を育成することは重要であり、それを教育の中でどう実現するかは逼迫の問題である。

創造性についての研究は、国内外問わず盛んに行われており、多くの先行研究が存在する。知性の観点から創造性を研究した Guilford は、創造性の思考を支える知的特性として、感受性、流暢性、柔軟性、独創性、精緻性、再定義する能力の6つがあると示した。また、人間の思考には、既知の情報から論理的に思考や推論を進めていき、唯一の正解に正しくそして早く到達するための“収束的思考”と、既知の情報から様々な考えを拡散させたりめぐらせたりして、新たな物を生み出していく“発散的思考”の2つがあり、創造性育成には発散的思考が有効であると述べている [6]。Maslow は、創造性を“特別な才能の創造性”と“自己実現の創造性”に分け、前者は天才的な人物、科学者、発明家、芸術家などといった特殊な人たちにみられる創造性であり、その創造活動は、社会的に新しい評価をもつかどうかで評価されると述べている。一方後者は、誰でももっているが、その活動は必ずしも社会的に評価されるものではないが、その人にとって新しい価値ある経験であると述べている [7]。恩田は、創造性を“新しい価値あるもの、またはアイデアを作り出す能力すなわち創造力、およびそれを基礎づける人格特性すなわち創造的人格である”と定義した。

また、学校教育においては、生徒や児童一人一人にとって価値のある新しさを大切にする“自己実現の創造性”が基本的であるとした [8]。Csikszentmihalyi は、創造性には、“creativity”と“Creativity(big-C)”があると示した。ごく個人的な範囲における創造性である creativity は、個人の生活や空間の中で発揮され、その結果が他者から認められずとも自分自身の人生を豊かにしてくれるものであるとし、公共における創造性、文化や物事の仕組み、生活のあり方などに改革をもたらす創造性である Creativity は、社会として人々が期待し求めるものであるとしている [9]。Boden は、創造性は一部のエリートだけのものではなく、日常的な連想、想起、知覚、類推的思考、問題空間の探索、リフレクションに基づいて発揮されるものであるとした。その上で、創造的な能力は個人にとっての心理学的創造性である P-Creativity と、歴史的にみた創造性である H-Creativity に分けられ、P-Creativity が基本的であるとしている [10]。Finke は、創造的認知の観点から、1. 創造的な図形パターンの創発には、心的合成・変形が重要であること(創造的視覚化)、2. 産出物の要因に関する制約は、産出物の部品・カテゴリ・機能について制約を与える(制限する)ことで創造的な作品の生成される割合が高くなり、産出物の種類にまで制約を与えると創造的な作品の生成される割合が低くなること(創造的発明)、3. 生成する概念のカテゴリに制約を与えることで、創造的なデザインが産出される割合が高くなること(概念合成)があると述べている [11]。

以上のように、創造性には様々なものがあるが、近藤らは、創造性の定義についての厳密な指標は見出されていない [13] こと、一方で新規性と有用性を含む産物を生み出す態度、プロセス、環境間の相互作用であるということは共通している [14] と指摘している [12]。しかし、一般的に創造性を発揮するというのは、非常に難しいと考えられる場合が多い。Kasof は、創造性を一部の天才しか持たないものであったり、芸術的な要素があると捉えられることに原因の一端がある [15] と述べている。

そこで本研究では、教育において育成するという観点から、恩田、Boden、Csikszentmihalyi らの創造性を援用し、“教員によって与えられた問題・課題の制約を、学生・生徒がわかりながら超えること(超えようとする)”と定義する。その上で、多様な学生・生徒が創造性を発揮するために、一定の手続きで創造性を育成する方略の構築が求められる。しかし、創造性を一定の手続きで発揮するためには、具体的にどのような操作が有効であるか、題材をどうするかについて詳細に検討する必要がある。

創造性を発揮するための手法として、問題の“変形”や“改良”は有効であると指摘されている。例えば Wallas は、創造的な思考の過程は、“準備期”、“あたたため期”、“啓示期”、“検証期”の4つの段階があると示し、あたたため期は“集められ

た情報を操作, 変形したり, 過去経験と照合する等模索の段階”であると述べている [16]. Boden は, 創造性には“組み合わせ”, “探索”, “変形”の3つのタイプがあると述べており, 基本的な部分を変形できればより意外なアイデアが生まれると述べている. Birch らは, 創造性のテクニックは, “異なる視点を与えることで問題を変形させる”ことに, その本質があると指摘している [17]. 他にも, Burkus [18], 江川 [19] も同様の指摘をしており, 創造性育成の中で“変形・改良”を行うことの有用性は多く指摘されていることから, 本研究においても“変形・改良”に着目する.

しかし, 変形・改良を行わせるためには, どのような変形・改良が可能か, また題材の構造を明確にし, 題材として何が適切かなどを明らかにすることが必要となる. 変形・改良の操作を明らかにするにあたり, Computational Thinking に着目する. Computational Thinking (以下 CT と略記) とは, 問題をコンピュータで解決できる形で整理し表現するための思考プロセスのことであり [20], 読み, 書き, 算術 (そろばん) の 3R 同様, すべての人にとって必要な基本的スキルの 1 つと考えられている幅広い概念としてとらえられている. 全体として見れば, コンピュータを用いた問題解決能力と捉えることができる [21]. そのため, CT は, プログラミング教育, Computer Science (CS) だけではなく, 数学や科学など幅広い領域で用いられている [22]. Barefoot Computing は, CT の概念として “logic,” “Algorithms,” “Decomposition,” “Patterns,” “Abstraction,” “Evaluation” の 6 つを提示している [23]. 磯辺らは CT を (1) 問題を解決するための手順の過程 (抽象化), (2) 問題解決のプロセスを定型化する過程 (自動化) ととらえている [24]. また Selby and Woollard によれば, CT は (1) アルゴリズム的に考えることのできる能力, (2) 構造化の観点で考えることのできる能力, (3) パターンを見つける, 使うなど一般化して考えることのできる能力, (4) よい表現を選ぶことができるなど抽象化して考えることのできる能力, (5) 評価の観点で考えることのできる能力としている [25]. これらの概念を用い, 一定の手続きで変形・改良を行わせることが期待できる. また, 構造化されている問題に対し, CT は有効であり, よく構造化されている well-structured problem (良構造問題) を用いることが有効である. well-structured problem とは, 良く構造化されていて, 目的を明確に定義できる問題のことであり, 問題が把握しやすい, モデル化しやすいといった特徴を有する. 題材の設定にあたり, 学生・生徒の抵抗感を極力減らすことや, 変形・改良が行いやすいこと, 多くの予備知識を必要としないことといった条件を盛り込むことで, 学生・生徒が変形・改良に注力することが期待できる. よって, 構造化されている数学の問題が有効であると考えられる. そこに予備知識を多く必要としないような, 確率, 数列, ゲー

ム要素を持つ問題などが有効であると想定される. このことから本研究では, 数学的要素を持つゲーム・パズルを題材として採用する.

教育におけるゲーム・パズルにおいて, 中原は, 問題の意味が容易に理解できることや, 生徒の興味を引くこと, 難易度が適当で, 少なくとも数名の生徒が時間内に解けることなどがよい題材の条件であるとしている [26]. 筆者らは, 数学的ゲーム・パズルをプログラミング教育で活用することが, 創造的態度を育成する上で有効であること [28], 数学的ゲーム・パズルを用いたプログラミング教育は, 生徒のモチベーション向上に有効であったことを報告している [29]. さらに筆者らは, ゲーム・パズルを題材とした教育アプリ開発を行い, CT 育成や数学の苦手意識軽減に有効であることを示唆している [30],[31],[32],[33],[34],[35]. 宮寺ら, Miyadera et al は, 高校生に数学的ゲーム・パズルを用いた数学研究を行い, 高校生が新しい公式の発見や国際学会発表を実現していることを報告している [36],[37],[38]. 以上のように, 数学的要素を持つゲーム・パズルの一定の有用性は示されており, パズルは CT の育成に有効であることが示されている.

変形・改良が創造性を育成できる基本的な方略として有効であるとすれば, 構造が明確である well-structured problem を用いることで, どこをどのように変形したか, それによって問題全体にどのような影響が及ぶかについて比較的容易に把握することができる. また, CT を活用して様々な変形・改良を行うことで, 他の問題に対しても変形・改良を行う素地を養うことができる. 一方, 経験学習の文脈から見れば, 変形・改良の様々な手法を段階的に指導することで, 学生・生徒に創造性を経験させることができ, 適切なりフレクシオンを行うことで, 創造性を発揮するための多様な力を育成することが期待できる. また, そのようなアルゴリズムの一例を示すことができれば, 創造的な振る舞いをコンピュータにさせることを指向したプログラミングや人工知能の開発や研究を行うにあたって有用となり得る. さらに, 様々な変形・改良を経験させるようなシステム開発を行うにあたり, 適切なりフレクシオンを与えることが期待できる. しかし, 変形・改良が重要でありながらも, どのように変形・改良を指導するのか, どのような段階を設定して実践を行うのがよいのかなど多くの点が不明であり, その方略を構築するためには, 単純な設定の問題において学生・生徒がどのような変形・改良を行うかについての実態を把握する必要があると考えられる. 以上のことから, 本研究では, well-structured problem である数学的要素を持つゲーム・パズルを題材とし, CT を活用し一定の手続きで変形・改良を行うために, 学生・生徒の実態を把握する研究を行なった.

2. 研究方法

2.1 題材

調査にあたり、本研究ではコラッツ問題を用いる。コラッツ問題とは、数学で未解決問題となっているよく知られた問題である [39]。

1930 年代にコラッツは “どんな正の整数から始めても操作を繰り返せば 1 になる” と予想したが、この予想はいまだに解かれていない未解決問題となっている。数学的には以下のように定義される。

定義 1. 任意の正の整数 n に対し、

- (1) n が奇数ならば、 n を 3 倍して 1 を加える。
- (2) n が偶数ならば、 n を 2 で割る。

という操作を繰り返し、1 になったら終了となる。

計算例を例 1 に示す。

- 例 1. (1) $11 \rightarrow 34 \rightarrow 17 \rightarrow 52 \rightarrow 26 \rightarrow 13 \rightarrow 40 \rightarrow 20 \rightarrow 10 \rightarrow 5 \rightarrow 16 \rightarrow 8 \rightarrow 4 \rightarrow 2 \rightarrow 1$ (14 回の操作で 1 に到達)
 (2) $23 \rightarrow 70 \rightarrow 35 \rightarrow 106 \rightarrow 53 \rightarrow 160 \rightarrow 80 \rightarrow 40 \rightarrow 20 \rightarrow 10 \rightarrow 5 \rightarrow 16 \rightarrow 8 \rightarrow 4 \rightarrow 2 \rightarrow 1$ (15 回の操作で 1 に到達)

コラッツ問題を UML のアクティビティ図で表現した図を図 1 に示す。図 1 で、黒丸は開始ノード、二重丸は終了ノードを表す。この構造を元に、学生・生徒が提案したコラッツ問題の変種との差分を比較する。コラッツ問題は数学の問題であり、生徒にとって問題の理解はさほど困難ではない。図 1 から、例えば even, odd の分岐をさらに増やす (n を 3 の倍数、3 の倍数+1、3 の倍数+2 で分岐など)、人数を増やして対戦プレイにする、開始・終了条件を変える、数字をサイコロなどに変えて確率的要素やゲーム要素を取り入れるなど様々な方法が考えられる。コラッツ問題をそのまま扱った場合は数学的要素を持つゲーム・パズルとは言いにくい部分もあるが、構造が明確である well structured problem であり、単純な変形・改良で新しい問題を作ることが可能であり、ゲーム要素も持たせやすいと考えられる。より数学的なゲーム・パズルとしてよく知られた問題も多いが、例えばハノイの塔などの場合、構造を把握するために全探索を行う必要があり、問題の制約をわかりながら超えるということが行いづらい場合が想定される。本研究においては、学生・生徒に変形・改良などを行わせることで、創造性を発揮することを目的としていることから、コラッツ問題を分析対象として採用した。

図 2 に、変形・改良が可能な箇所の候補を示す。例えば、A は初期条件、B は終了条件、C は分岐の条件、D は分岐後のアクション、E は分岐の追加、F は反復条件であり、これらの箇所を変形・改良することで、学生・生徒自身にとって新しい問題を、変形・改良を理解しながら考案・創出することが可能であると考えられる。もちろん、他にも

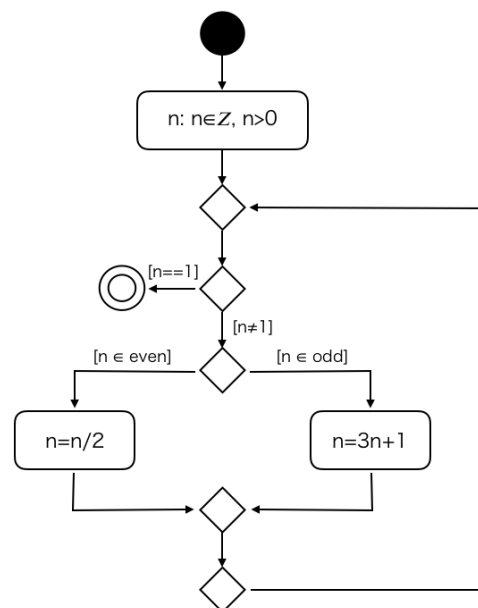


図 1 アクティビティ図で表現したコラッツ問題

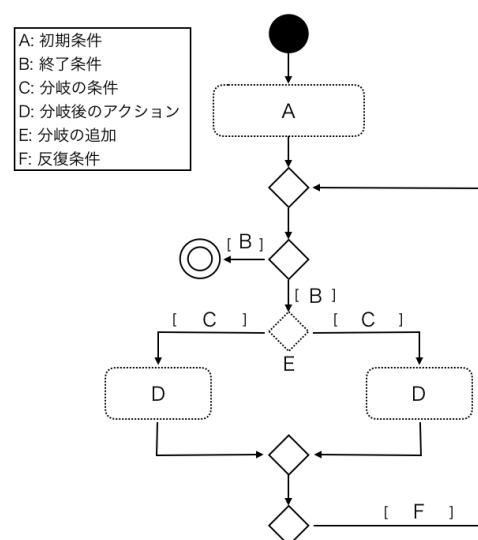


図 2 コラッツ問題の変形・改良の候補例

様々な変形・改良が想定され、それらの事例について学生・生徒がどのような問題を考案・創出したかについて、生徒の考案した問題をアクティビティ図で表記し、その構造を分析する。

2.2 調査方法

2018 年 7 月および 9 月に、関西圏にある私立 K 高等学校および私立 O 大学 (情報系でゲーム関連の専攻学科) の授業時間内に調査を行なった。対象者は、高校生 21 名、大学生 38 名であり、有効回答数は、高校生 21 名、大学生 35 名、有効回答率は 94.9%であった。調査項目としてコラッツ問題を準備し、まず最初いくつかの数字を提示し、その数字を 1 になるまで操作させて、コラッツ問題を理解させた。その後、コラッツ問題を変形・改良させ、その内容について用紙に書かせた。問題の題意が全く成立しないも

のや、与えたコラッツ問題を読まずに全く関係ないと思われる問題については除外した。

2.3 分析方法

学生・生徒が作成した問題を全て UML で表記し、元のコラッツ問題との差分をチェックした。その上で、調査方法で述べた授業において多くの学生・生徒がどのように問題を変形・改良するかについて分析を行い、その傾向を把握する。

3. 結果と考察

3.1 結果

変形・改良を行なった学生・生徒のデータをまとめたものを以下の表 1,2 に示す。複数の問題を考案していた場合、数字のあとに a,b をつけて示している。微小な変形・改良に関してはどの変形・改良を行なったかを示し、その詳細については省略し、D の分岐後のアクションの変更のみを行っていた学生・生徒は表 1,2 内の注 1 に示した。

表 1 高校生によるコラッツ問題の変形・改良 (概略)

| 番号 | 変形・改良 | その他/詳細 |
|-----|-------------------|---|
| 2 | C,D,E | C:素数で分岐, D:2 番目に小さい約数で割る |
| 5 | A,B,C,D, E,F,G | D:桁をずらす計算, G:対戦ゲーム, 1 までの計算反復回数の大小で争う |
| 6 | A,B,C,D | A:分数にも対応, C:分母の偶奇で分岐 |
| 7 | C,D | E:素数で分岐 |
| 8a | D | D:余りを加算, |
| 8b | B,D,G | D,G:前回の結果を計算に用いる |
| 9a | C | C:5 の倍数かつ偶数という条件で分岐 |
| 9b | A,C,D,E | A:正負に対応, E:正負の条件で分岐 |
| 11a | C,D,G | C:分岐の条件に 10 の倍数, G:ルーレット (1~9) を数にかける |
| 12a | C,D,E | E:数に 0 があるときで分岐 |
| 12b | A,B,C,D, E,F,G | A:好きな数字を用いる。G:対戦ゲーム, G:1 までの計算反復回数の大小で争う。 負けたプレイヤーはトランプを一枚引き、 トランプの値が数字に加算される。 |
| 15a | C,D,E | E:2 以外の素数で分岐 |
| 15b | C,D,E | E:偶数かつ 10 の倍数で分岐 |
| 16b | C,D,E | E:数が 2 桁で分岐, 10 の位と 1 の位を入れ替え |
| 18 | C,D | C:3 の倍数か否かで分岐 |
| 19 | D,G | G:奇数で分岐後、コインを投げ、 その裏表で数に 1 を足す |

(n=21)

注 1: 1a,1b,3a,3b,4,10,11b,13a,13b,14a,14b,
16a,17,20a,20b,21a,21b は、D のみ

注 2: A:初期条件の変更, B:終了条件の変更,
C:分岐の条件の変更, D:分岐後のアクションの変更,
E:分岐の追加, F:反復条件の変更, G:その他

表 3 より、全ての学生・生徒が、C の分岐の条件変更、もしくは D の分岐後のアクションの変更を行っていた。高校生と大学生を比較すると、いずれも D の分岐後のアク

表 2 大学生によるコラッツ問題の変形・改良 (概略)

| 番号 | 変形・改良 | その他/詳細 |
|----|-------------------|---|
| 1 | C,D,E | C,E:5 の倍数で分岐 |
| 2 | A,B,D,G | A:最初の数と 1 に到るまでの予想回数, B:1 に到達する回数と予想回数の差で勝負 |
| 3 | A,B,D,F,G | A:1~10 のカードから 1 枚取る, D:偶奇で持つ武器が異なる B,G:持っている武器で勝負 |
| 4 | A,B,D,G | A:最初の数をサイコロで決定, B,G:1 に到るまでの計算回数の大小で争う |
| 5 | C,D,E | D:奇数になった回数を加算, F:数が 100 以上の時で分岐 |
| 9 | B,D,E,G | A:初期値をサイコロで決める, B,G:3 回プレイし、30 との差の大小で勝負 |
| 10 | C,D | C:素数で分岐 |
| 11 | B,D,E,F,G | D,G:奇数で分岐後、コインを投げて数を加減, B,G:1 に到る回数の大小で勝負 |
| 12 | C,D | 3 の倍数か否かで分岐 |
| 13 | A,G | A:小数にも対応, G:数が 100 以上、小数第一位の数で加減 |
| 15 | C,D,E | C,E:数が 20 以上、偶奇によって分岐 |
| 16 | A,B,D,F,G | A:初期値はトランプ 3 枚の和で決定, B,G:1 に到る回数の大小で勝負 |
| 17 | A,B,D,F,G | 取ったカードの数コラッツの計算を 一度行なってブラックジャック |
| 18 | A,B,C,D, E,F,G | サイコロ 2 個ふり、その和で得点が変わる。 その合計点で勝負 (野球のようなゲーム) |
| 19 | B,D | B:素数に到達すると終了 |
| 20 | C,D,E | C,E:2,3,6 の倍数などで分岐 |
| 21 | B,C,D,E | B:2 に到達すると終了, C,E:素数、偶奇などで分岐 |
| 22 | A,B,D,G | A:サイコロ 2 個で初期値決定, B,G:1 に到るまでの計算回数の大小で争う |
| 23 | A,B,D,F,G | A:トランプ 2 枚で初期値決定, B,G:1 に到るまでの数の合計の大小で争う |
| 24 | B,D | B:2 に到達すると終了 |
| 25 | B,C,D,G | B:素数に到達すると終了 |
| 26 | C,D | C:素数で分岐 |
| 27 | A,B,F,G | G:1 に到達する 7 回前までに上がり宣言, B,G:1 に到るまでの数の合計の大小で争う |
| 28 | B,D | B:777 に到達すると終了 |
| 29 | A,B,F,G | A:トランプ 2 枚で初期値決定, B,G:1 に到るまでの数の合計の大小で争う |
| 31 | C,D | C:3 の倍数か否かで分岐 |
| 32 | G | G:計算後、素数であれば+1 |
| 33 | A,B,F | A:サイコロ 2 個で初期値決定, F:もう 1 個のサイコロでコラッツ計算の回数決定 |
| 34 | D,E | D,E:3 の倍数で分岐 |
| 35 | A,D,G | A,G:小数にも対応 |

(n=35)

注 1: 6,7,8,14,30 は、D のみ

注 2: A:初期条件の変更, B:終了条件の変更,
C:分岐の条件の変更, D:分岐後のアクションの変更,
E:分岐の追加, F:反復条件の変更, G:その他

ションの変更を行なっている学生・生徒が一番多かった。そして、大学生は高校生よりも A:初期条件の変更, B:終了条件の変更, F は反復条件の変更および G:その他の項目が多く、その他の項目については大きな差が見られなかった。

表 3 変形・改良の集計結果

| | 高校生 (n=21) | 大学生 (n=35) | 合計 (n=56) |
|---------------|---------------|---------------|--------------|
| A | 4(12.1%) | 13(37.1%) | 17(25.0%) |
| B | 4(12.1%) | 18(51.4%) | 22(32.4%) |
| C | 13(39.4%) | 11(31.4%) | 24(35.3%) |
| D | 32(97.0%) | 30(85.7%) | 62(91.2%) |
| E | 8(24.2%) | 9(25.7%) | 17(25.0%) |
| F | 2(6.1%) | 9(25.7%) | 11(16.2%) |
| G | 5(15.2%) | 15(42.9%) | 20(29.4%) |
| A,G | 0(0.0%) | 1(2.9%) | 1(1.5%) |
| B,D | 0(0.0%) | 2(5.7%) | 2(2.9%) |
| C,D | 2(6.1%) | 4(11.4%) | 6(8.8%) |
| D,E | 0(0.0%) | 1(2.9%) | 1(1.5%) |
| D,G | 1(3.0%) | 0(0.0%) | 1(1.5%) |
| A,B,F | 0(0.0%) | 1(2.9%) | 1(1.5%) |
| A,D,G | 0(0.0%) | 1(2.9%) | 1(1.5%) |
| B,D,G | 1(3.0%) | 0(0.0%) | 1(1.5%) |
| C,D,E | 5(15.2%) | 4(11.4%) | 9(13.2%) |
| C,D,G | 1(3.0%) | 0(0.0%) | 1(1.5%) |
| A,B,C,D | 1(3.0%) | 0(0.0%) | 1(1.5%) |
| A,B,D,G | 0(0.0%) | 2(5.7%) | 2(2.9%) |
| A,B,F,G | 0(0.0%) | 2(5.7%) | 2(2.9%) |
| A,C,D,E | 1(3.0%) | 0(0.0%) | 1(1.5%) |
| B,C,D,E | 0(0.0%) | 1(2.9%) | 1(1.5%) |
| B,C,D,G | 0(0.0%) | 1(2.9%) | 1(1.5%) |
| B,D,E,G | 0(0.0%) | 1(2.9%) | 1(1.5%) |
| A,B,D,F,G | 0(0.0%) | 4(11.4%) | 4(5.9%) |
| B,D,E,F,G | 0(0.0%) | 1(2.9%) | 1(1.5%) |
| A,B,C,D,E,F,G | 2(6.1%) | 1(2.9%) | 3(4.4%) |
| 提案された問題数 | 33 | 35 | 68 |

数字は人数, () は割合

注: A:初期条件の変更, B:終了条件の変更,
C:分岐の条件の変更, D:分岐後のアクションの変更,
E:分岐の追加, F:反復条件の変更, G:その他

また、高校生の方が数学的に成立するような変形・改良が多く見られ、大学生の方がゲームとして楽しめるような変形・改良が多く見られた。調査を行なった大学は情報系でゲーム関連の学科であったことから、A,B,Gが多い傾向が見られると予想される。数学において研究対象となる問題として適した問題を探す文脈であれば、高校生の変形・改良は適切である可能性がある。数学研究を行うにあたり、複数箇所の変形・改良を加えることで、問題の条件が複雑になりすぎてしまう可能性があること、既存の問題ですでに証明がなされている問題の解法が全く使えない可能性があること、数値解析などが行いにくくなることなどの理由が考えられる。しかし、本研究における創造性を育成するためには、様々な創造性の発揮を経験させることが重要となる。よって、一つの変形・改良方法だけではなく、様々な手法を身につけることが重要であると考えられる。高校生はA:初期条件の変更, B:終了条件の変更, Fは反復条件の変更を行なっている場合が少なく、その変更を行うような手段を講じることが有効であると考えられる。

以上のことから、変形・改良を段階的に指導するにあ

たって、C:分岐の変更, D:分岐後のアクションの変更は大半の生徒・学生ができていたことから、それ以外の変形・改良について重点的に指導する必要があると考えられる。また、確率要素を取り入れるために、具体例を示すなどの方略が有効であると考えられる。また、数学研究の問題として取り扱うなどといった目的によっては、どこを変更するしないといったことを伝え、段階的に育成しながら、自由度の高い指導へと展開することが重要であると考えられる。これらのことは、今後創造性を育成するためのシステム開発を行うにあたり、どの種類の変形・改良を行なったかについて表示し、学生・生徒に適切なりフレクションを与えるための基礎的知見になるのではないかと考えられる。

4. まとめと今後の展望

本研究では、コラッツ問題を大学生・高校生に変形・改良させ、その傾向を把握することを試みた。その結果、大学生と高校生に対し、同じ条件で行なったにも関わらず、条件の変更や条件後のアクションの変更のみを行なっている生徒が多く、大半であった。このことから、限定的な変形・改良のみを行う学生・生徒に対し、反復を取り入れることや、二人でプレイするような変形方法の指導などを行う重要性が示唆された。しかし、本研究ではコラッツ問題のみを分析対象としており、多種多様な数学的要素を持つゲーム・パズルに対して一義的に本研究の成果を活用することは難しい。今後、様々な問題の構造を分析し、変形・改良された問題との差分を比較することで、CTを活用した変形・改良の段階的で適切な指導方法の構築および、学生・生徒の思考パターンの分類を行っていく必要があると考えられる。その上で、変形・改良を通じて創造性を育成するシステムの開発を行い、学生・生徒に適切なりフレクションを与えることで、CTを活用して創造性育成を行っていく必要がある。

謝辞 本研究の一部は、JSPS 科研費特別研究員奨励費 18J20759 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] 厚生労働省, 人口動態統計. 入手先 <http://www.mhlw.go.jp/seisakunitsuite/bunya/hokabunya/shakaihoshou/dl/07.pdf> (参照 2018-09-01).
- [2] 日本生産性本部, “日本の労働生産性の動向 2017 年版”, 入手先 http://www.jpcc-net.jp/annual_trend/annual_trend2017_full.pdf
- [3] 文部科学省, “教育基本法”, 入手先 http://www.mext.go.jp/b_menu/houan/an/06042712/003.htm (参照 2018-09-01).
- [4] Adobe, “Adobe Education Forum 2017” 入手先 <https://www.adobe-education.com/jp/aef/> (参照 2018-09-01).
- [5] World Economic Forum, “Global Information Technology Report 2016” 入手先

- (<http://reports.weforum.org/global-information-technology-report-2016/>) (参照 2018-09-01).
- [6] Guilford, J.P., "Intelligence, Creativity, and Their Educational Implications", *Knapp, San Diego*, 1968.
- [7] Maslow, A.H. (佐藤 三郎, 佐藤 全弘 (翻訳)), 創造的人間 - 宗教・価値・至高体験, 誠信書房, 1981.
- [8] 恩田 彰, "創造性の展開", 恒星社厚生閣, 1994.
- [9] Csikszentmihalyi, M., "Creativity, In R.J. Sternberg", *Encyclopedia of human intelligence*, New York: Macmillan, pp.298-306, 1994.
- [10] Boden, M.A., "Creativity and Artificial Intelligence", *Artificial Intelligence*, **103**, pp.347-356, 1998.
- [11] Finke, R.A. (小橋 康章 (翻訳)), "創造的認知-実験で探るクリエイティブな発想のメカニズム-", 森北出版, 1999.
- [12] 近藤 健次, 永井 由佳里, "創造性の育成に関する研究-創造的になるための変容プロセス: mini-c に着目して", 日本創造学会論文誌, **21**pp.42-63, 2018.
- [13] Hennessey, B.A. and Amabile, T.M., Creativity, *Annual Review of Psychology*, **61**, pp.569-598, 2010.
- [14] Plucker, J.A., Beghetto, R.A. and Dow, G.T., Why Isn't Creativity More Important to Educational Psychologists? Potentials, Pitfalls, and Future Directions in Creativity Research", *Educational Psychologist*, **39**(2), pp.83-96, 2004.
- [15] Kasof, J., "Explaining Creativity: The Attributional Perspective", *Creativity Research Journal*, **8**(4), pp.311-366, 1995.
- [16] Wallas, G., The art of Thought, *London: Jonathan Cape*, 1926.
- [17] Birch, P. and Clegg, B. (泉本 行志 (翻訳)), アイデアのつくり方を「仕組み化」する, ディスカヴァー・トゥエンティワン, 2010.
- [18] Burkus, D. (プレシ 南日子, 高崎 拓哉 (翻訳)), "どうしてあの人はクリエイティブなのか? -創造性と革新性のある未来を手に入れるための本", ビー・エヌ・エヌ新社, 2004.
- [19] 江川 政成, "クリエイティビティの心理学: 創造的思考の原理・方略と17のレッスン", 金子書房, 2013.
- [20] Wing, J.M., "Computational Thinking", *Communications of the ACM*, **49**(3), pp.33-35, 2006. (Wing, J.M. (中島 秀之 (翻訳)), "計算論的思考", 情報処理, **56**(6), pp.584-587, 2015.)
- [21] Wing, J.M., "Research Notebook: Computational thinking What and Why?", 2011. 入手先 (<https://www.cs.cmu.edu/link/research-notebook-computational-thinking-what-and-why>) (参照 2018-09-01).
- [22] 阪東 哲也, 黒田 昌克, 福井 昌則, 森山 潤, "我が国の初等中等教育におけるプログラミング教育の制度化に関する批判的検討", 兵庫教育大学学校教育学研究, **30**, pp.185-196, 2017.
- [23] Barefoot Computing, "Computational Thinking" 入手先 (<http://barefootcas.org.uk/wp-content/uploads/2014/10/Computational-thinking-Barefoot-Computing.pdf>) (参照 2018-09-01).
- [24] 磯辺 秀司, 小泉 英介, 静谷 啓樹, 早川 美徳, "コンピュテーショナル・シンキング", 共立出版, 2014.
- [25] Selby, C. and Woollard, J., "Computational thinking: the developing definition", 2013. 入手先 (https://eprints.soton.ac.uk/356481/1/Selby-Woollard-bg_seton_eprints.pdf) (参照 2018-09-01).
- [26] 中原 克芳, "中学高校の授業でパズルをどのように活用するか". 大阪商業大学アミューズメント産業研究所紀要, **16**, pp.329-339, 2014.
- [27] 福井 昌則, 森山 潤, "創造的態度の育成を目的とした高校生対象の Java プログラミング教育の実践", 日本教育工学会 第 33 回全国大会, 島根, 2017.
- [28] 福井 昌則, 黒田 昌克, 森山 潤, "ゲーム・パズルを題材に高校生の創造的態度の育成を図るプログラミング教育の試み", 日本教育工学会論文誌, suppl-**42**, in print.
- [29] 福井 昌則, 萩倉 丈, 黒田 昌克, 森山 潤, 平嶋 宗, "数学的ゲーム・パズルを題材にプログラミングのモチベーションを高める高校生対象ワークショップ型プログラミング講習の実践と評価", コンピュータ&エデュケーション, コンピュータ利用教育学会, **45**, in print.
- [30] 福井 昌則, "数学的ゲーム・パズルを用いた研究・学習活動を行うための環境構築を目的とした iOS アプリケーション開発", *The 22nd Game Programming Workshop 2017*, pp.119-125. 2017.
- [31] 福井 昌則, "アクティブ・ラーニングを促進する数理的パズル「碁石拾い」を題材とした iPad アプリケーションの開発", コンピュータ&エデュケーション, コンピュータ利用教育学会, **42**, pp.55-58, 2017.
- [32] 福井 昌則, "数列に対する苦手意識の軽減を目的としたアクティブ・ラーニングを促進する iOS アプリケーション「ヨセフス問題」の開発", コンピュータ&エデュケーション, コンピュータ利用教育学会, **43**, pp.85-88, 2017.
- [33] 福井 昌則, 萩倉 丈, 番庄 智也, "順列組合せの単位におけるアクティブ・ラーニングを促進する iOS アプリケーション「ナイトツアー for Education」", コンピュータ&エデュケーション, コンピュータ利用教育学会, **43**, pp.89-92, 2017.
- [34] 福井 昌則, 佐々木 雄司, 黒田 昌克, "コンピュテーショナルシンキングの育成を目的とした iOS アプリケーション「n-クイーン問題 for Education」の開発", コンピュータ&エデュケーション, コンピュータ利用教育学会, **44**, pp.100-103, 2018.
- [35] 福井 昌則, 末續 鴻輝, 安福 智明, 黒田 昌克, "探究的な学習を促進する Windows アプリケーション「組合せゲーム」の開発", コンピュータ&エデュケーション, コンピュータ利用教育学会, **45**, in print.
- [36] 宮寺 良平, 福井 昌則, "数学的ゲームを活用した高校生による数学研究", ゲーム学会論文誌, ゲーム学会, **10**, pp.13-19, 2018.
- [37] Miyadera, R., Kannan, S. and Fukui, M., "Some Formulas for Max Nim", *The 21th Japan Conference on Discrete and Computational Geometry, Graphs, and Games (JCDCG3 2018)*, Manila, August, 2018.
- [38] Miyadera, R., Kitagawa, M., Suzuki, S. and Fukui, M., "Generalized Pascal-Like Triangles", *The 21th Japan Conference on Discrete and Computational Geometry, Graphs, and Games (JCDCG3 2018)*, Manila, August, 2018.
- [39] Guy, R.K. (金光 滋 (翻訳)), "数論「未解決問題」の事典", 朝倉出版, 2010.