

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

福井 昌則・末續 鴻輝・安福 智明・黒田 昌克

◎キーワード 石取りゲーム, ノースコットのゲーム, 数学的ゲーム・パズル,
二進数, 探究的な学習

1 はじめに

2018年2月に高等学校学習指導要領^[1]が公示され、新教育課程の実施に向けて、準備が進められている。現行の学習指導要領との相違点として、「理数探究基礎」「理数探究」の設置が挙げられる。この2科目は、「様々な事象に関わり、数学的な見方・考え方や理科の見方・考え方を組み合わせるなどして働かせ、探究の過程を通して、課題を解決するために必要な（基本的な）資質・能力」の育成が目標として掲げられている^[1]。基本原理（案）として、1. 様々な事象に対して知的好奇心を持つとともに、教科・科目の枠にとらわれない多角的、複合的な視点で事象をとらえ（総合性）、2. 科学的な見方・考え方や数学的な見方・考え方を豊かな発想で活用したり、組み合わせたりしながら（融合性）、3. 探究的な学習を行うことを通じて（手立て）、4. 新たな価値の創造に向けて粘り強く挑戦する力の基礎を培う（挑戦性、アイデアの創発）を掲げ、それぞれに対する指導の視点を例示している。その中では、主体的に課題設定・解決を行い、積極的に研究成果を発表することが内容とされており、4つの基本原理を育成することが期待されている^[2]。

探究的な学習は、問題解決的な活動が発展的に繰り返されていく一連の学習活動であるとし、①【課題の設定】体験活動などを通して、課題を設定し課題意識をもつ、②【情報の収集】必要な情報を取り出したり収集したりする、③【整理・分析】収集した情報を、整理したり分析したりして思考する、④【まとめ・表現】気付きや発見、自分の考えなどをまとめ、判断し、表現するといった流れで展開される学習である^[3]。また、『新教育学大事典』によれば、探究的な学習（事典では「探究学習」）は、「探究の過程（観察、分類、測定、伝達、予測等）に児童生徒が主体的に参加することによって、探究能力（観察能力、分類能力等）、科学概念、望ましい態

度の育成をねらうもの」と定義されており^[4]、探究的な学習は基礎的な科学的態度を涵養し、論理的思考力や問題解決力を高めることが期待できる。一方、首相官邸は「成長戦略」（未来投資戦略2017）の中で、「長期停滞」の現状を打破するためには、近年急激に起きている第4次産業革命（IoT、ビッグデータ、人工知能（AI）、ロボット、シェアリングエコノミー等）のイノベーションを、あらゆる産業や社会生活に取り入れることにより、様々な社会課題を解決する「Society 5.0」を実現することが重要であると指摘している^[5]。つまり、コンピュータの働きを理解するとともに、コンピュータを用いた問題解決力を育成し、上述した社会課題を解決することが求められており、コンピュータを用いた問題解決力は、これからの時代を生きていく子どもたちにとってなくてはならない重要なものであると考えられる。前報では、コンピューショナルシンキング（Computational Thinking、以下CTと略記）を育成することを目的とした、数学的ゲーム・パズル「n-クイーン問題」を題材としたiOSアプリケーションを開発した（以下、アプリケーションをアプリと略記）。そのアプリでは、紙面上や黒板を用いて実践を行なった場合に生じることが予想される置き間違いなどのミスを回避するとともに、簡単にやり直しができることや配置できる箇所が視覚的にわかるといった機能を実装し、アルゴリズム的思考の育成を通してCTを育成することが期待できると指摘した^[6]。CTは、上述したコンピュータを用いた問題解決力と捉えることができ、今後、前報で得られた知見を生かし、探究的な学習を促進することを目的とした、生徒の興味・関心を高める数学的ゲーム・パズル教材を開発することが重要であると考えられる。筆者の1人は、数学的ゲーム・パズルを用いた学習活動を行うためのアプリを複数作成し、その有用性について指摘している^[7]。しかし、探究的な学習を充実させる数学的ゲーム・パズルを題材としたアプリ開発に関する研究は必ずしも十分になされていない。そこで本稿では、探究的な学習の題材として数学的ゲーム・パズルである「石取りゲーム」

に着目し、その題材を用いた学習を促進することを目的とした Windows アプリケーション「組合せゲーム」を開発した。

2 題材設定

(1) 数学的ゲーム・パズル「石取りゲーム」について

本稿では、生徒の興味・関心を高めながら、探究的な学習を深めるために、数学的ゲーム・パズル「石取りゲーム (n 山くずし)」を題材として取り上げる。石取りゲームとは、2 人で対戦するゲームであり、プレイヤーは石が積み上げられた n つの山から 1 つの山を選び、選んだ山から好きなだけ石を取っていく。それを交互に繰り返し、最後の石を取った方が勝ちとなるゲームである。また、このゲームは NIM (ニム) とも呼ばれている^[8]。プレイの様子を例 1 に示す。

例 1: 石の個数が 2 つの山 X と 3 つの山 Y がある。先手の A は、山 Y から石を 1 つ取り、後手の B は、山 X から石を 1 つ取る。そして、A は山 Y から 1 つ、B は山 X から 1 つ、A は山 Y から 1 つとプレイし、先手である A の勝ち。Fig. 1 にそのプレイの様子を示す。

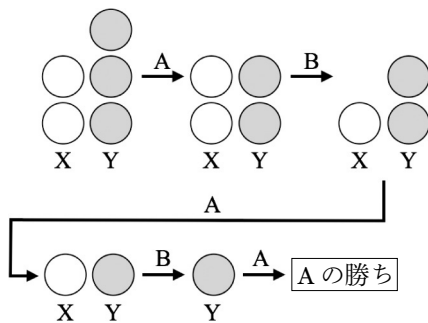


Fig. 1 石取りゲーム (2 山くずし) のプレイの様子

n 山くずしの場合、それぞれの山の石の数を二進数表記し、桁ごとに繰り返り足し算を行なった結果が 0 となるようにプレイすると勝つことができる (例 1 で言えば、先手の A が一手目に山 Y から石を 1 つ取り、2 つの山の石の数を揃えたことに相当)^[8]。このように、二進法の計算方法を知ることによって、ゲームの勝敗を判定することができるなど、様々な観点からゲームをとらえることで、生徒の興味・関心を高めながら、探究的な学習を促進することが期待できる。

石取りゲームは、以下の特徴を有している。

- ①石を取る操作でプレイできるなど、多くの予備知識を必要とせず、単純でわかりやすい。
- ②石の数や山の数を増やしたり、ルールを変更することで、難易度を適切に調整することや、新しい問題に取り組ませることが期待できる。

- ③必勝法を探究・証明するなど、さらなる発展的な実践が可能である。またその変種には未解決問題も多く、排他的論理和が使える問題とそうでない問題があるなど、多くの発展性を有している。

石取りゲームには、いくつかの数学的に同値であるゲームが存在する。例えば、板チョコレートを線に沿って縦もしくは横一直線にカットしていく「チョコレートゲーム」(Fig. 2)^[9]、コインを一方方向にずらしていく「コインずらしゲーム (シルバーダラー)」(Fig. 3)、コインずらしを応用した「ノースcottのゲーム」(Fig. 4) などがある^[8]。また、石取りゲームの変種として、一度に取れる石の数に制限がある「制限 NIM」、コインずらしゲームに、コインを飛び越してもよいというルールを追加した「マヤゲーム (佐藤・ウェルターのゲーム)」、石取りゲームに、2 つの山から同じ個数だけ石を取ってよいというルールを追加した「ワイトホフの NIM (ワイトホフの 2 山くずし、チャヌシッチのゲーム)」^[8]、選好順序を導入した多人数で行う石取りゲーム^[10] など数多く存在する。これらの様々なゲームを活用し、適切に難易度を調整することで、多くの生徒を探究的な学習へと誘うことが可能な題材の一つである。

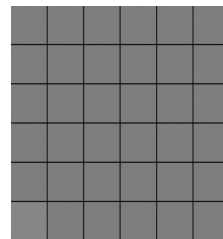


Fig. 2 チョコレートゲーム



Fig. 3 コインずらしゲーム

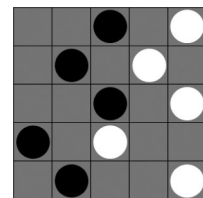


Fig. 4 ノースcottのゲーム

(2) 実践上の課題と問題点

以上のことから、石取りゲームの有用性を確認することができたが、それらの活動を紙面上で実践するとき、間違ったプレイをしてしまっても気づかず、そのミスにも気づきにくいことなどから、石取りゲームの特徴を生かした探究的な学習がやりづらくなってしまおうそれがある。本稿では、石取りゲームを用いた探究的な学習の第一歩として、石取りゲームとノースcottのゲームに着目し、探究型の学習を充実させることを目的とした Windows アプリケーションを開発した。

3 Windows アプリケーション「組合せゲーム」の開発

(1) Windows アプリ「組合せゲーム」の概要

第 2 章で指摘した実践時の問題を解決し、探究型の学

習を充実させるために、Windows アプリ「組合せゲーム」を開発した。本アプリは、Windows 7や10がインストールされたパソコン上で動かすことができる。アプリは <https://github.com/Masaminr/nim> からダウンロードことができ、アプリをダブルクリックすることでインストールすることなしにプレイすることができる。開発には Visual Studio 2010 Express, 言語は Visual Basic を用いた。UI はシンプルなものとし、説明書がなくても使えるようなものとした。立ち上がると、Fig. 5 が立ち上がり、プレイしたいゲームを選ぶと、名前入力画面が立ち上がる。



Fig. 5 最初に表示される画面

「3まで取れる」は、3つまで取れる制限 NIM, 「2山 NIM」「3山 NIM」「4山 NIM」は、一手で取れる石の数に制限がない石取りゲームである。「3山 NIM」は、2つあるが、下の方は山の石の数を二進数表記した数が表示されている石取りゲームであり、二進数を用いて必勝法を考える活動を展開するとき使用する。また、追加 NIM は、石を減らす代わりに石を増やすこともできる石取りゲーム、ノースコットは、追加 NIM と数学的に同値であるコインずらしゲームである。「3まで取れる」をクリックすると、名前入力画面が立ち上がり、名前を入力すると Fig. 6 が表示される。左側の数字が山の石の数、右側の「-」ボタンをクリックすると、押した回数分だけ石を取ることができる。そして、取りたい数の分だけクリックし、右下のターン終了をクリックすると、相手のターンとなり、それを交互に繰り返すことでゲームを進めることができる。

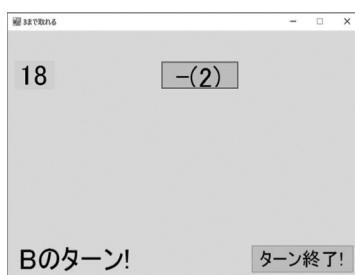


Fig. 6 「3まで取れる」のプレイ画面

「ノースコット」をクリックすると、名前入力画面が立ち上がり、名前を入力すると Fig. 7 が表示される。着手をクリックすると、行を入力する画面が表示され、数字を入力（左方向に移動ならばマイナスをつけた数字、右方向に移動ならばそのまま数字を入力）して OK をクリックすると着手でき、相手のターンとなる。それを交互に繰り返すことで、ゲームを進めることができる。

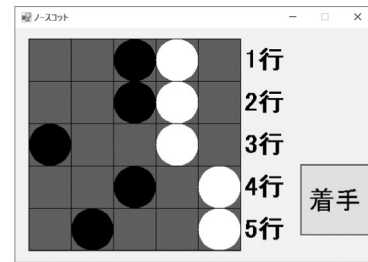


Fig. 7 ノースコットのプレイ画面

以上のアプリを活用することで、石取りゲームとノースコットのゲームを用いた探究型の学習を充実させることが期待できる。また、二進数の有用性を感じさせる活動を展開することが期待できる。

(2) アプリを用いた活動例

・活動例 1：愛知県立明和高等学校で夏休みに開講されたゲーム理論の講座において、石取りゲームを二進数展開して関係性を見る授業を行っており、別視点から見る考え方の良さを伝えることができたと報告している^[11]。この活動を援用し、山の数を増やしていきながら、二進数を紹介し、その二進数と必勝法について考えさせる授業を展開する。本アプリを用いることで、最初に 3山 NIM をプレイさせたのち、二進数表記の 3山 NIM をプレイさせ、必勝法に二進数が関係していることを考えさせる活動を適切に行うことが期待できる。

・活動例 2：制限のない 1山くずしだと先手がすべての石を取ると必ず勝てるため、一手で取れる石の数を制限した 1山くずしを行なった後、山の数を増やしていきながら必勝法を考えさせ、二進数表記した上で桁ごとに繰り返り上がりのない足し算を行なった結果が 0 となるようにプレイすると勝てることを理解させる。そして、石の数を追加することもできる追加 NIM を学習後、ノースコットのゲームを紹介し、それが追加 NIM と数学的に同値であることを生徒に考えさせる活動が展開できる。また、二進数の有用性および数学的構造を見抜く学習を行うことが期待できる。本アプリは、上述した活動に対応する機能を有していることから、本アプリを用いることで、ゲームとして楽しみながら、この活動を適切に行うことが期待できる。

他にも、石取りゲームの様々な変種を用いた活動^[12],

すなわち、自身でルールを変更して自身で課題を設定させて解かせたり、問題を数学的に同値なゲームを用いて数学的構造を見抜かせるなど、様々な探究的な学習活動に接続することが期待できる。また、石取りゲームの変種には未解決問題が多く、既存の問題を変形することによって新しい問題を創出することが生徒にとって難しくないことから、新事実を発見・証明することを取り入れた探究的な学習活動へ接続することが期待できる。

4 まとめと今後の展望

本稿では、探究的な学習を促進するために、数学的ゲーム・パズルである「石取りゲーム」に着目し、その有用性について指摘した。そして、石取りゲームを用いた探究的な学習の第一歩として、石取りゲームとノースコットのゲームに着目し、Windows アプリ「組合せゲーム」を開発した。そのアプリを活用することで、探究的な学習を充実させることが期待できることを指摘した。今後、探究的な学習を促進する様々な数学的ゲーム・パズル教材について検討を行い、その活動を促進するアプリケーション開発を行うことが必要となろう。

注・参考文献（全ての URL は 2017.08.06 参照）

- [1] 文部科学省. 「高等学校学習指導要領」.2018.
http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afiedfile/2018/07/11/1384661_6_1_2.pdf
- [2] 文部科学省 教育課程部会. 「理数探究（仮称）に関する資料」. 2016.
http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo3/

- 060/siry/_icsFiles/afiedfile/2016/05/12/1370460_12.pdf
- [3] 文部科学省. 「第1編 第2章 今、求められる力を高めるための学習指導」. 2011.
http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/detail/_icsFiles/afiedfile/2011/02/17/1300464_3.pdf
- [4] 細谷俊夫, 河野重男, 奥田真丈, 今野喜清. 『新教育学大事典』. 第一法規出版. 1990.
- [5] 首相官邸. 「未来投資戦略 2017—Society5.0 の実現に向けた改革—」. 2017.
https://www.kantei.go.jp/jp/singi/keizaisaisei/pdf/miraitousi2017_t.pdf
- [6] 福井昌則, 佐々木雄司, 黒田昌克. 「コンピュ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」. コンピュータ利用教育学会『コンピュータ&エデュケーション』. 44, in print.
- [7] 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」, 第 22 回ゲームプログラミングワークショップ 2017 予稿集, 2017. pp.119-125.
- [8] 佐藤文広. 『石取りゲームの数学：ゲームと代数の不思議な関係』, 数学書房, 2014.
- [9] A. C. Robin. “A poisoned chocolate problem, Problem corner”, *The Mathematical Gazette*, Vol.73, No.466, 1989. pp.341-343.
- [10] 末續鴻輝. 「選好順序による多人数 NIM における正規形と逆形」, 第 22 回ゲームプログラミングワークショップ 2017 予稿集, 2017. pp.230-235.
- [11] 愛知県立明和高等学校. 「SSH 事業「数学 夏の学校」」. 2017.
http://www.meiwa-h.aichi-c.ed.jp/414_ssh_summer_school.htm
- [12] 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. Vol.10.2018.pp.13-19.

2018.4.13 受理 2018.8.6 掲載決定

著者略歴

福井昌則（ふくい まさのり）

- ◎現在の所属：広島大学大学院 工学研究科（院生），日本学術振興会特別研究員（DC1），大阪電気通信大学，神戸学院大学，関西学院高等部（いずれも非常勤講師）
- ◎専門分野：プログラミング教育，創造性教育，学習工学

末續鴻輝（すえつぐ こうぎ）

- ◎現在の所属：京都大学大学院 人間・環境学研究科（院生）
- ◎専門分野：組合せゲーム理論，計算複雑性，情報科教育学

安福智明（あぶく ともあき）

- ◎現在の所属：筑波大学大学院 数理物質科学研究科（院生），株式会社シルフ・インスティテュート 数理学院（主任講師）
- ◎専門分野：組合せゲーム理論，数学教育，グラフ理論，対称群の表現論

黒田昌克（くろだ まさかつ）

- ◎現在の所属：兵庫教育大学連合大学院（院生）
- ◎専門分野：小学校段階におけるプログラミング教育，技術教育