

# 離散数学の学習カリキュラムの開発

## —中学校数学科におけるプログラミング活動を通して—

萩田 篤

千葉大学教育学部学生

近年、プログラミング教育が話題となっている。しかし、学校においては技術科・情報科の一部でしか行われておらず、生徒がプログラミングに触れられる時間が多いとはいえない。他方、離散数学は情報数学とも言われ、プログラミングと関係が深い。本研究では、中学校数学科において、離散数学の主にアルゴリズムに関連した一連の授業を開発し、中学校で実践することで、作成したカリキュラムの有効性と課題を明らかにした。その結果、生徒のプログラミングに対する意識について、さらに深めたいといった意欲の高まりが見られた。また、アルゴリズムを扱った教材についても生徒から肯定的な回答が得られ、興味を喚起できた。しかし、授業時間の配分や、アルゴリズムが身の回りどどのように関連付けられているのかを生徒に考えさせられたかという点では、不十分な点も見られた。<sup>1</sup>

キーワード：プログラミング教育、離散数学、アルゴリズム、数学科、ゲーム制作

### 1. 問題の所在

#### 1.1. アルゴリズムに着目した授業を行う意義

近年、コンピュータの技術革新がすさまじい勢いで進んでいる。Frey & Osborne (2013)は、これからの20年で、アメリカにおける雇用の半分がコンピュータの影響を受け、取って代わられると言っている。雇用の半分がコンピュータに取って代わられるということから、今後ますますコンピュータが私たちの生活に身近な存在になっていくことが予想される。現在、コンピュータの利益を享受している人間の大多数は、コンピュータの使い方が、ゲーム、チャット、ブラウジングといった受動的な使い方にとどまっていると言えるだろう。今後、IT技術の進歩が確実である社会で、受動的な使い方しかできないというのは問題であろう。自らの手で能動的にコンピュータを使って、自身が考えたことが実現できるようになる、もしくはコンピュータにはどのような特徴があるのかを知っていることが望ましい。そのために義務教育中にコンピュータの能動的な使い方を知り、その特徴を理解する必要がある。このことは1.2.で示すプログラミング教育の必修化からも見て取れ、これからの時代に求められる能力の一つであることが分かる。

プログラムを組む際には、アルゴリズムを考える必要がある。アルゴリズムを考えることはプログラミングで必要な能力の一つであり、一連の動作をさせるために必

要なステップを見通す力のことである。久野・辰己・佐藤 (2008) は、アルゴリズムを「ある問題を解決するための処理手順のことです。主に数学や情報処理の分野で用いられる用語ですが、広義には人間が行う作業手順のことをアルゴリズムと言います」と定義している。コンピュータがより身近な存在となっていく社会では、人々はコンピュータの能動的な使い方を知る必要があり、そのためにはアルゴリズムを考えられるようになる必要がある、と言える。

#### 1.2. 近年におけるプログラミング教育

2011年ごろから「プログラミング教育」の重要性が活発に指摘されるようになった。プログラミングとは一般的に、一定の処理を行うようにコンピュータに指示を与えるためにプログラムを作成することを指す。プログラミング教育には各国も注目しており、総務省(2014a)によると、世界各国におけるプログラミング教育の広がりは表1のようになっている。

国により、プログラミング教育が目指す目標に若干の違いがあるものの、プログラミング教育は義務教育の段階から取り組まれていることが示されている。日本でのプログラミング教育は、世界から遅れを取っているものの、首相官邸より発表された「世界最先端 IT 国家創造宣言」(首相官邸 2015)の第4章で、プログラミング教育や情報セキュリティ教育について述べられ、関心の高さが伺えるようになってきた。ICTの活用についても、文部科学省は教育の情報化を推進しており、学校教育・社会教育におけるICTの活用、プログラミング

Atsushi HAGITA : Curriculum Development for Discrete Mathematics-Programming in Junior High School Mathematics  
Student, Faculty of Education, Chiba University

表 1 海外におけるプログラミングの学校カリキュラムへの導入例

国名	取組概要
イギリス	2014 年 9 月のカリキュラム改訂で 5 歳～16 歳でのプログラミング教育を必修化
イスラエル	2000 年に高校におけるプログラミング教育を必修化、現在中学への導入も計画中
エストニア	2012 年に小学校から高校まで計 20 のパイロット校でプログラミング教育を開始
オーストラリア	連邦政府に新たなカリキュラム案は 8 歳～13 歳のプログラミング教育を必修化する内容（現在最終承認待ち、2016 年頃から各州で実施の見込み）
韓国	2015 年から全中学校に正課外のプログラミング教育を実施 2018 年にはプログラミング教育を含む「ソフトウェア」学習を正式科目に採用予定
ニュージーランド	2011 年に高校生がプログラミング等のコンピュータサイエンスを学ぶ新カリキュラム導入
フィンランド	2016 年のカリキュラム改訂で 7 歳～16 歳でのプログラミング教育を必修化

教育に関する実践報告等の項を設け紹介している。

文部科学省（2014）によると、学校教育では、平成 20 年度に告示された小中学校、平成 21 年度に告示された高等学校の学習指導要領で情報教育の充実が図られているとしている。文部科学省（2008a）による学習指導要領でのプログラミングの取り扱いについては、中学校では新学習指導要領の技術・家庭の中で中学校技術科の「プログラムと計測・制御」が選択から必修に変更された。また、文部科学省(2009a)では、高等学校においては、新学習指導要領によって、共通科目である「情報」の内容が再構成され、「情報 A」「情報 B」「情報 C」から「社会と情報」「情報の科学」のいずれか 1 科目を選択必修修することになった。「情報の科学」ではプログラムのプログラミングに関する項目がある。中学校、高等学校のどちらにおいても、プログラミング技術に焦点を当てた学習ではなく、アルゴリズム・問題解決の考え方に焦点を当てた指導を行い、問題解決の手段としての知識・プログラミングを扱うと述べられている。

問題解決能力は、OECD(2013)によると、「解決の方法が直ぐには分からない問題状況を理解し、問題解決のために、認知的プロセスに関わろうとする個人の能力。そこには建設的で思慮深い一市民として、個人の可能性を実現するために、自ら進んで問題状況に関わろうとする意思も含まれる。」とされている<sup>3</sup>。問題解決のためには主体性を持つことが必要であることが述べられている。

### 1.3. アクティブ・ラーニングとプログラミング学習

アルゴリズムを考えるためには論理的な思考が不可欠だ。本節では、プログラミングが学校教育においてどのような位置づけになるのか論じていく。学習指導要領でも、「論理的思考力」といった文言を目にするだろう。論理的思考力は知識基盤社会の到来や、グローバル化の進展といった社会が急速に変化する情勢を踏まえ、言語活動を充実させることにより養っていくとされている。

文部科学省(2008b)は言語活動を充実させる理由として「国語をはじめとする言語は、知的活動(論理や思考)だけではなく、(中略)、コミュニケーションや感性・情緒の基盤でもある」と文部科学省も示しており、論理や思考の基盤を養うために言語活動の充実を掲げている。

文部科学省教育課程企画特別部会より出された「教育課程企画特別部会における論点整理について（報告）」(文部科学省 2015a)ではアクティブ・ラーニングの視点で学びを改善する際の視点として以下が示された。

- i) 習得・活用・探究という学習プロセスの中で、問題発見・解決を念頭に置いた深い学びの過程が実現できているかどうか。
- ii) 他者との協働や外界との相互作用を通じて、自らの考えを広げ深める、対話的な学びの過程が実現できているかどうか。
- iii) 子供たちが見通しを持って粘り強く取り組み、自らの学習活動を振り返って次につなげる、主体的な学びの過程が実現できているかどうか。

プログラミングにおいても、自らでプログラムを考え取り組むことで、主体的に学ぶことができる。また、プログラムが動かない場合には、どうして動かないのかを粘り強く考えることで解決に至ることもある。自らでプログラムを考え実装することは、自分で問題を設定し、解決を目指すプロセスを含む。

よってプログラミングは上記のアクティブ・ラーニングが備える要素を満たすことができるため、アクティブ・ラーニングとして成り立つことが示唆された。

プログラミングとアルゴリズムは密接に関わっているが、数学とアルゴリズムの関係についてはどうなのだ

ろうか。儀我 (2004) は次のように言っている。

なぜ数学は重要なのか。よく数学は計算するのに必要でアルゴリズムを作るためには要るのではないかと考えられているようです。確かにそのためにも必要です。しかしそればかりではなくて、むしろ論理的説明能力と言ってもいいし、数理的説明能力というものの、(中略)、を身に就けるために必要なのです。

数理的説明能力というのはどういうことかと申しますと、あることを話して、どこが未知、どこが既知で、どこが予測で、どこが推論なのか、どこが論理的な必然なのかをきちんと区別するという力です。従ってこれを持っているということが非常に大事なのです。

(中略)

要するに、ここに書いてありますが、言葉、思考基盤としての数学、これですね。これが大事なのです。

数学にアルゴリズムは必要で、さらに数学は思考基盤としても必要であると述べている。言語活動の充実とは知的活動(論理や思考)の基盤として取り込まれている活動であるが、数学も同様に思考基盤を養うためには必要であるため、アクティブ・ラーニングとしてプログラミングを授業で行うことは可能であることが示唆される。

#### 1.4. 本研究の数学的な位置付け

離散数学という数学の分野がある。離散数学はコンピュータがより発達した近年において、ますます重要な領域となっている。これから人間はよりコンピュータを活用していく時代になっていくため、離散数学の領域を学ぶことは重要になってくる。秋山・R.L.Graham (1993) はグラフ理論・組み合わせ理論、計算幾何学、アルゴリズム論、最適化問題などを離散数学として説明している(p.ii)。しかし、離散数学の領域のうち学校教育で教えられているものは行列・集合・順列・組み合わせ・証明・数列などで、そのうち義務教育段階で扱われているのは一部に過ぎない。他の内容も高等学校の学習指導要領に含まれてはいるが、数学Iのみが必修科目であり、集合を扱う程度で、離散数学を代表する「ピックの定理」「一筆書き定理」などについては扱っていない<sup>4</sup>。

文部科学省(2009b)の学習指導要領において、離散数学は数学として定義されていないのではないかと素朴に思うだろう。しかし、高等学校には「数学活用」という科目があり、数学と人間の活動や社会生活における数理的な考察に重きを置いている。数学活用において数学的な活動は我々が素朴に考える数学的な活動より広義

に捉えられている。小中学校の学習指導要領では代表的な離散数学は扱っていないが、「数学活用」においてはグラフ理論を扱っており、文部科学省は離散数学を数学として認知しており、社会生活と関係があるものとして、こうしたことを踏まえると、離散数学を数学科の中で扱うことができる示唆が得られる。コンピュータがより身近になる今後において離散数学の分野はますます重要になると考えられ、それは一部の生徒のみが履修するのではなく、義務教育段階の生徒に対して行うことが望ましい。

## 2. 研究の目的と方法

本研究の目的は、中学校数学科において、離散数学の主にアルゴリズムに関連した一連の授業を開発し、中学校で実践することで、作成したカリキュラムの有効性と課題を明らかにしていくことである。

研究は以下の方法で行う。

- ① アルゴリズムと身近な生活を繋げる授業プランを開発する。
- ② アルゴリズムは既存のアルゴリズムを教えるだけでなく、生徒自身で Scratch を用いたプログラミングを通して深められるようにする。
- ③ 授業中の生徒の様子、生徒による事前・中間・事後アンケートを中心に上げ、授業の考察を行い、授業プランの有効性と課題について検討する。

## 3. 授業の開発

### 3.1. 授業実践校と選択教科について

本授業は、千葉大学教育学部附属中学校(以下、附属中学校)の3年生用選択教科にて2015年度前期に開講された「ゲームで学ぶ数学」のカリキュラムの中で実践することとした。附属中学校では、2・3年生が履修する授業において週1時間の選択教科が設置されている。複数ある講座の中から、生徒が希望する講座を調査し、人数が上限を上回った場合には人数調整を行い、講座が決定される。

### 3.2. 授業で取り上げるアルゴリズムについて

授業では、「筆算の解き方のアルゴリズム」、カーナビ等に使われている「経路探索のアルゴリズム」、特定の人物等を当てる「アキネーター」、料理・PERT等の身の回りのアルゴリズム、誤り符号検出・訂正のチェックディジットのアルゴリズムについて扱うこととした。初歩的なアルゴリズムとして、バブルソート等のソートアルゴリズムが考えられるが、今回は生徒の身の回りの事柄且つ、興味を喚起できそうな内容として、上記を取り

上げることとした。

### 3.2.1. 筆算

筆算は、小学校 2 年生の「数と計算」から学習する内容である。ここでアルゴリズムについて確認しておきたい。アルゴリズムとは、ある問題を解決するための処理手順のことで、一連の動作をさせるために必要なステップのことでありと説明した。例えば、足し算の筆算は、一の位を足し、繰り上がりがあれば十の位に 1 を立て、十の位を計算し、それを計算できなくなるまで行うことで答えを導く。この作業は私たちが何気なく行っているアルゴリズム的動作である。生徒には普段使っている計算方法がアルゴリズム的動作によって成り立っていることを知ることで、既習事項をアルゴリズム的視点から捉え直すきっかけとなるようにし、これを導入とした。

生徒が視覚的に理解できる様、フローチャートと Scratch<sup>5</sup>を使用したプログラムの 2 つを作成した。プログラムでは、足される数とたす数を入力することで、筆算の計算方法と同じ様に答えを求める仕組みになっている。一の位同士の足し算から行い、場合によって繰り上がりをする。計算の過程も表示するようにしている。

### 3.2.2. 経路探索アルゴリズム

総務省 (2014b) によると、カーナビゲーションシステム (以下、カーナビ) の出荷台数は年間 546.6 万台に達し、乗用車の 7 割程度にカーナビが搭載されている。カーナビには、目的地へ行く際に経路を検索する機能がある。独立行政法人 工業所有権情報・研修館 (2005) によると経路検索には主にダイクストラ法<sup>6</sup>というアルゴリズムが使われているとしている。

グラフ理論とは、数学の一分野である。船曳・内田・中西 (2012) はグラフ理論について、「グラフ理論が対象とするグラフは、点 (頂点, ノードとも呼ばれる) の集合と、辺 (枝, リンクとも呼ばれる) の集合で構成される。統計で扱う折れ線グラフや棒グラフといった、数値の変化量を示すためのグラフとは異なるものである。辺は 2 点間を接続する線分として定義され、点に何らかの意味を与えた場合に、その対応する 2 点間の関係を表す。グラフ理論では、通信ネットワークや集積回路といった非常に複雑なシステムを、グラフのシンプルな表現方法を用いて表すことで、余分な情報を取り去り、本質のみを表現することを可能とする。」と説明している。このように現代の科学技術にとって、グラフ理論の考え方はなくてはならないものになっている。

経路探索のアルゴリズムは複数あり、扱うアルゴリズムによって探索の方法が異なる。そこで PathFinding.js<sup>7</sup>を使い、視覚的に違いが分かるようにした。ダイクストラ法とのアルゴリズムの違いが比較で

きる様、ダイクストラ法を一般化した A\*アルゴリズム<sup>8</sup>を用いた。この二つは障害物があった場合に求め方が変わる。

以上より、現代で普及している機械においてアルゴリズムが取り入れられており、同じことをするとしても、選択するアルゴリズムが違うことで内部の処理が変わってくることを視覚的に理解することができるため、教材として取り上げるのに適当だと考えた。また、グラフ理論の補足資料としてプリントを作成した。これは、一筆書きができるかどうかグラフ理論を活用することで数学的に判定することが出来ることを説明したものだ。これも生徒の興味を喚起できるものとして作成した。

### 3.2.3. 身近なアルゴリズム (PERT)

アルゴリズムが数学・プログラムの世界だけではなく、日常の生活にも深い関わりがあることは、様々な年代に出版された書籍においてアルゴリズムの説明として日常の動作が例としてあげられていることから明らかである。また、グラフ理論が実社会で使われる例として、プロジェクトマネジメントの手法の一つである PERT<sup>9</sup>を取り上げ、出来上がったグラフであるアローダイアグラムを読み解き、クリティカルパスを求める活動を行う。

様々な場面でアルゴリズムが使われているということを知るとは、今まで見ていた物事を違った視点で捉えるきっかけになるため、教材として取り上げるのに適当だと考えた。

### 3.2.4. アキネーター

アキネーター (Akinator)<sup>10</sup>は独自のロジックエンジンを活用し、質問に回答してだけで想像している人物・キャラクターが誰かを当てるエンターテイメントサイトである。筆者が試してみたところ、芸能人からアニメのキャラクターまで様々な分野において、ほとんどの場合でアキネーターに当てられてしまった。

これは、ただのゲームの様に感じられるかもしれない。しかし、アキネーターの仕組みを考えた際、二分探索木<sup>11</sup>を導くことができる。二分探索木はグラフ理論を用いており、さらに構造は確率の計算の際に使われる樹形図と構造が同じであるため、視覚的に理解しやすいと考えた。常に 2 分する様な木の場合、その計算量は対数  $\log_2 N$  ( $N$  は選択枝の数) と等しくなる。本来、指数は数学 II において学習する事項であるが、法則性を導くことは難しくない。計算量が対数  $\log_2 N$  と等しくなることを利用し、Scratch で国をあてるゲームを作成した。

アキネーターというほぼすべての人物・キャラクターをカバーしているサービスを利用することで、生徒の興味・関心を喚起し、そこから発展させることで、対数に対する興味を喚起させることができると考え、教材とし

て取り上げるのに適当であると考えた。

### 3.2.5. チェックディジット

デジタル化により、データの送受信、複製がしばしば行われるようになった。そこで使われるアルゴリズムが、誤り検出符号とも言われるチェックディジットである。チェックディジットの中でも一番単純なアルゴリズムであるシンプルチェックサム<sup>12</sup>について扱っていく。

また、シンプルチェックサムのアルゴリズムをさらに拡張し、誤りの発見と訂正を行うことができるアルゴリズム (ピンポイントトリック) というものもある。

誤り検出のアルゴリズムはメールやコンピュータなどではもちろんのこと、商品についている JAN コード<sup>13</sup>、書籍の情報を扱う ISBN コード<sup>14</sup>でも使われている。今回は、休み時間に読書をしている生徒がクラスにいたため、ISBN コードを例にして説明することとした。

以上の様に、アルゴリズムが比較的わかりやすいチェックディジットから入り、そこから発展・展開させ、普段目にするもので考えさせることは、展開として十分可能であり、生徒の社会の見方を変えることができると考え、教材として取り上げるのに適当だと考えた。

### 3.3. プログラミングで扱う言語

授業の際、生徒にはプログラミングを体験させる。その際に使う言語の選定を行う。言語の範囲であるが、キーボード操作に不慣れな生徒を考慮し、ビジュアルプログラミング言語も選定の範囲内とする。小学生から高校生までを対象に行われた先行研究を調査し、次の言語が実践の場で使われていることがわかった。

表 2 先行研究にて使用された言語

Smalruby	Scratch
Squeak (Squeak Etoys)	プログラミン
HSP	ドリトル
NXC	MOONblock
VICSUIT	JavaScript
センター試験用手順記述標準言語 (DNCL)	

様々な言語を使った研究がおこなわれており、主にソースコードをキーボードで書く必要のないビジュアルプログラミング言語が選択される傾向にあることがわかった。ビジュアルプログラミングが使われる理由として、キーボードの入力の速度が生徒間で差がでる可能性を考慮しての選択であると考えられる<sup>15</sup>。このため、中学校において、プログラミングを扱う際に、ビジュアルプログラミングが行える言語選択には妥当性がある。

今回は、実践を行う教室環境がインターネットに常に

接続できる状態が保障されていないこと、ユーザー数が多いため不明な点の解決方法が比較的見つけやすいことを考慮し、Scratch を選択することとした。

### 3.4. 授業の全体と展開

本実践では、授業を 2 つの柱より成り立たせることを考えた。1 つ目は、どのようなアルゴリズムが存在し、それが実社会ではどのように扱われているのかを考える柱である。2 つ目は、自分でアルゴリズムを考え、Scratch でのプログラミングによって体感的に学んでいく柱である。2 つ目の柱では、生徒自身でゲーム作成をさせ、生徒の自主的な参加を促しながら、生徒自身でアルゴリズムを考える活動を設定した。カリキュラム前半では、クエストと称した課題を設定し、生徒に取り組みさせる<sup>16</sup>。その際に、課題を達成するための手段に対しては、制限をつけず、課題の条件を満たすものであれば、どのようにプログラムを組んでもよいというように指導の方針を立てた。カリキュラム後半で生徒自身にゲームを制作させるが、生徒自身で制作物(ゴール)を決め、そこへ至るためにどのようなものが必要でどのようにして作るかについては指示を出さないようにする。McGonigal (2011) はゲームに共通する 4 つの特徴として①ゴール、②ルール、③フィードバックシステム、④自発的な参加を挙げている (日本語訳 p.39)。このことを本実践と結びつけて考えると、①ゴール: ゲーム作成の成果物、②ルール: プログラミング言語の文法に従う、③フィードバック: 論理的にアルゴリズムを組み立ててプログラムが組めれば、考えたようにプログラムが動く、④自発的な参加: 自分で作りたいものを制作する、ことが言える。

以上を踏まえ、表 3~8 のように授業を計画した。

プログラミング教育における先行研究において、学校内で行なわれている授業では、課題型の形態の授業が殆どであった。年間 105 時間の授業時間の中で、長時間同じ活動に充てるのでは、学習事項を学びきれないという危惧がある。しかし、1.1.でも取り上げたように、将来の展望を見据えた際に、アルゴリズムを理解すること、答えが一つでないものに対して主体的に思考する活動をすることは必要不可欠であり、授業を行う必要がある。

表 3 1 時間目の授業プラン

時間	主な授業進行
5 分	ゲームの制作をするということを伝える
15 分	算数・数学に潜むアルゴリズムの説明 (筆算) ・アルゴリズムは身近なところにもあることを意識させる。

23分	ネコとネズミのゲームの制作を通してScratchの操作方法を説明 <ul style="list-style-type: none"> <li>・面倒なことをプログラミングすることによって解決できるということを理解させる。</li> <li>・一度間違えてプログラムが動かないことから論理的に考える必要性を理解させる。</li> <li>・どのように動かしたいのか考え、それを実現するためにはどのブロックを持って来ればいいのかを考えさせながら進める。</li> </ul>
2分	次回からすることの説明

表 4 2時間目の授業プラン

時間	主な授業進行
20分	前回までどのようなことをしたのかの確認
23分	クエスト <sup>17</sup> (課題) <ul style="list-style-type: none"> <li>・1時間目に制作した、ネコとネズミのゲームを元にゲームを発展させていくことを伝える。</li> </ul>
3分	次回の予告

表 5 3時間目の授業プラン

時間	主な授業進行
2分	前回までどのようなことをしたのかの確認
40分	クエスト (課題) の続き <ul style="list-style-type: none"> <li>・クエスト 3 を終了した生徒に対しては選択肢を与え、自由に取り組みせる。</li> </ul>
3分	次回の予告

表 6 4時間目の授業プラン

時間	主な授業進行
8分	前回までのクエストの解説
5分	中間アンケート記入
30分	自分の作るゲームの構想 <ul style="list-style-type: none"> <li>・フローチャートで書き出させる</li> </ul>
2分	次回からすることの説明

表 7 5～8時間目の授業プラン

時間	主な授業進行
10分	身の回りのアルゴリズムについて説明 5時間目：経路探索アルゴリズム 6時間目：身近なアルゴリズム(PERT) 7時間目：アキネーター 8時間目：チェックディジット(ISBN)

30分	ゲームの制作 <ul style="list-style-type: none"> <li>・生徒毎に前回の授業のフィードバックを行う。</li> <li>・わからない生徒にはお互いに聞きあうことを促し、それでもわからない場合は支援をする。</li> <li>・8時間目では、出来上がったものをお互いに見せ合う時間を10分とる。</li> </ul>
5分	進捗の記録

表 8 9時間目の授業プラン

時間	主な授業進行
5分	アルゴリズムとコンピュータ <ul style="list-style-type: none"> <li>・前回の誤り符号の話からチェックサムの話を行う。誤り訂正の話をする。</li> </ul>
20分	アルゴリズムを考えることの有用性 <ul style="list-style-type: none"> <li>・フィボナッチのうさぎの問題<sup>18</sup>から8ヶ月目は何匹になるのかをグループで計算させる。 (3ヶ月後までは全体で計算し、確認する)</li> <li>・では30ヶ月後は? Excelを使用して確認(セルに入る数式は選択肢を用意しておく)</li> </ul>
5分	アルゴリズムと数学の関連 <ul style="list-style-type: none"> <li>・アルゴリズムは筆算から(小学)から数列(高校)まで続いている。</li> <li>・「アルゴリズムは人間が何かを解く際に使われている。けれども、人間だと時間がかかりすぎる場合がある。そんなときにアルゴリズムを利用してプログラムを書く」と簡単に答えがでる」</li> </ul>
10分	事後アンケートの記入

## 4. 授業の実際と考察

### 4.1. 授業・生徒の概要

実施校：千葉大学教育学部附属中学校
教科：数学 (選択教科)
対象：中学三年生 男子9名 女子4名
時間：45分×9時間

本講座の説明を行った際、ゲーム性を押し出した説明をし、普段授業で扱う数学とは異なることを説明した。そのため、単純に数学が好きな生徒だけではなく、数学が特段好きではないが、日常との関連が知りたい生徒、ゲームがどのように数学と関係があるのか興味がある生徒、プログラミングをしてみたい生徒、が多く集まっ

た。生徒の半数以上は、当講座を第一希望とはしておらず、体育など他教科の抽選で漏れ、移動してきた生徒であった。仲のいい生徒と一緒に講座を選んだというような消極的な参加理由の生徒も見受けられた。授業前に自己紹介カードを記入してもらった結果、嫌いな授業で数学を挙げた生徒はいなかったが、好きな授業として数学を挙げた生徒も半数以下の6名であった。

当授業を行う際に、以下の目標を設定した。

- ①身の回りのアルゴリズムに目を向けることができる。
- ②自ら考え、ゲームを作り動かすことができる。
- ③プログラミングを通して論理的な思考をすることができる。

#### 4.2. 1～3 時間目の授業の様子と考察

1～3 時間目では Scratch のサンプルプログラムの作成の手順の説明を行い、プログラムを作成した。更にクエストと称した課題を出し、生徒に取り組ませた。主に操作方法の理解に比重を置いた展開であるが、カリキュラム後半に生徒が自らゲームを作成する際に必要であるからである。授業を行うにあたり、教える事項を前もって録画しておき、筆者はわからない生徒のケアをすることとした。授業補助者（以下、TA）は授業時に扱う Scratch の操作方法にそこまで明るくないため、筆者が生徒をケアできるようになるのではと考えたからだ。

まず、筆算を細かく見ていくとどのようなことが分かるかを説明した。既習事項から新たなことを導き出すことは、新しいことを学ぶ際には必要なことであると考えたためだ。生徒には、アルゴリズムの定義を示した後に、既習事項でも同様のことが当てはまることを確認した。生徒にも足される数と足す数を言ってもらい、アルゴリズムには一般性があり、数字が変わっても答えを導き出してくれることを示した。

導入を行った後に、動画を併用し、サンプルプログラム作成の解説を行った。カリキュラムの前半が終了した時点でとった中間アンケートの設問「1 時間目、2 時間目で動画を使った説明をしました。授業者が説明した方がよかったですか？」では次の結果が得られた。

表 9 中間アンケートの設問への回答

①とても思う・・・・・・・・	2名
②まあまあ思う・・・・・・・・	2名
③あまり思わない・・・・・・・・	8名
④まったく思わない・・・・・・・・	1名

以上のことを踏まえると、授業の際に動画を使った解説は一定の有効性があると考えられる。しかし、授業の際に、動画の不備や、音声の出力について配慮が足りなかったこともあり、授業以外の部分で時間を取られてし

まう部分が多くなったり、授業に弾力性がなくなってしまうたりした。授業プランでは 1 時間目で終了させることができたサンプルプログラムの作成が 2 時間目までかかってしまったことから再検討する必要がある。

サンプルプログラム作成において、変数という少し難しい要素を扱ったが、生徒が皆同じようにならなかったことから、さらに小分けにして解説するべきであったと考えられる。目的から考えると、できたプログラムの動作が同じであれば良いが、スクリプトの順番が変わってしまうことで、生徒により微妙に動きが違う場合があった。そのような場合はお互いのプログラムを確認させて、どのような理由から違いが現れてしまったのかを生徒自身で考えさせる必要があったと考えられる。

授業中の生徒の様子であるが、生徒同士で確認することが多い生徒は、納得する様子が多く見受けられた。授業者は説明だけではなく、実物を見せることで生徒はより納得できていた。

クエスト（課題）では生徒により、進度に差が出てしまった。隣の人に教えることで進度調整を図ったが、それでもできてしまう差をどのように埋めていくには課題が残ったと言える。また、クエストは3つまで用意し、それを終えた生徒に対しては、エクストラクエストとしていくつかの選択肢の中から選んで取り組ませるよう準備していたが、そこまでいける生徒はいなかった。

課題をクエストと表現したのは一定の有効性が見られた。以下に授業の様子を記録映像から描写する。

授業前に生徒にパソコンを配布していたが、早く来た生徒から開いて作業をしていた。授業開始とともに一旦閉じさせてスライドを見るようにした。

本時から課題をクエストという形で提示し、生徒にやらせる。（中略）作業はパーティクエストという名目で、協働で取り組むことにした。このことで、隣の同士で肩を叩いたり、目配せしたりと意欲を見せる生徒がいた。

生徒は、授業前から自主的に触って動かしたいといった様子であった。また、パーティクエストとし、生徒に課題を提示したことは、生徒同士で協働する意欲を高められたと考えられる。

各クエストが一番早くに終了したグループが出た時点で教室前面のスライドに次のクエストを表示するようにした。以下に S1、S2、S9 の生徒のグループを例に授業の様子を記録映像から描写する。

S1・S2・S9 のグループは S1・S2 が早く出来ていたため、S9 に教えなければ次のクエストに進め

ない。S1 はチラチラ S9 にアドバイスをしていたが、S2 は自分のプログラムをいじっていることが多かった。(中略) S2 は 30 分ごろから隣のペアである S12・S10 にアドバイスをしていた。S2 はアドバイスの中で S10 に、一つ一つ順に解説をしていた。33 分に S9 もクエスト 2 が達成でき、クエスト 3 『回復アイテムを登場させよ!』を提示した。35 分を経過した頃から生徒全体がクエスト 3 を取り組み始めるようになる。S1 は S2 に面白いことがあったのか笑顔で目をキラキラさせながら何かを話している。

協働を促すようなデザインにしたが、次のクエストをするために他の生徒を教えるという意識より、自分の興味関心の方が強くなってしまったことが伺える。また、比較的進むのが早い S1、S2 の 2 人で話すことが多くなり、S9 が終わるまで、やりたいことをしている様子があった。一部の生徒で、音を出したりして、本来の趣旨から外れた活動をしているものも見られた。次のクエストを教室前面に出すのではなく、個人・グループに渡すようにして目標に取り組みたいようにしたり、遅れてしまう生徒に対しての何らかの支援ができたりする仕組みも検討する必要があると考えられた。

#### 4.3. 4 時間目の授業の様子と考察

4 時間目では、主にカリキュラム後半で取り組むゲーム制作へ向けて構想を練る作業を行った。

授業前半では、クエストの確認と解説を行った。生徒にどのくらいクエストがクリアできたかを尋ねた。クラスのほとんどはクエスト 3 である『回復アイテムを登場させよ!』がクリアできないでいた。このクエストは、変数の扱い方をある程度理解していないと難しい。しかし、考え方の原理としては、変数が減っていく処理と同様のことをしているので生徒自身で解くことができないわけではない。

クエスト 1 と 2 については生徒に教室前面のプロジェクトに接続した PC で発表させた。この時、1 人を指名したら自信が無さそうであったので、隣の生徒と 2 人で発表させた。クエスト 3 については授業者が解説した。ここで生徒から画面からは見えなくなったが、実は透明になっただけで存在しているのではないか、という旨の質問が出た。そこでなぜそう思ったのか、どうすればできるかを考えさせた。生徒の考えにあわせ、その場でプログラムを書き換え、実際に動かして確認した。生徒は納得した様子であった。

授業後半では、5~8 時間目に作るゲームの構想を練る時間をとった。1~3 時間目において生徒は課題以外のことを取り掛かっていたことから既に作りたいもの

のがあると考え、すぐに生徒に課題を振ってしまった。しかし、生徒からはアイデアが出てこなかった。

授業者が、生徒のアイデアの発端になるような基礎のアイデアを用意しておくことや生徒同士でアイデアが創発されるような下地を整えておく点で課題が残った。

#### 4.4. 5~8 時間目の授業の様子と考察

5~8 時間目では、授業の前半では 4. で説明したアルゴリズムを紹介し、授業の後半ではゲーム制作を行った。授業終了後には毎回、作業の進捗とわからなかったことを書かせ、次回授業開始時に授業者がそれに対するアドバイスを書き生徒に返却する。

生徒は 1 人で黙々とやるタイプ、隣と同じものを作ろうとするタイプ・周りと話しながらするタイプの 3 タイプがいた。思考力がある生徒は黙々とやるタイプが多かった。周りと話しながらするタイプの生徒は、自分の作った物の面白い部分を周りの生徒に見せたり、見に行ったりすることが多くなり、必然的にお互いを高め合う土壌ができていた。

生徒の制作しているもので特に難しいところであったのは「スペースキーを押したら弾を発射するプログラム」「ブロック崩しでプレイヤーのボードに当たったら跳ね返るプログラム」であり、これに取り組む生徒からアドバイスを求める声がしばしばあがった。生徒に対しては、考え方のみのアドバイスにとどめ、実際のプログラムは生徒自身でやらせた。殆どの質問に対しては一度の支援で十分生徒は理解しプログラムを組んでいた。

ここでの課題は、生徒の取り組みのレベルデザインが挙げられる。生徒一人で課題を取り組ませた場合、難しい動きをさせることを敬遠してしまう可能性がある。黙々とやる生徒の場合、他の生徒とプログラムをうまく動かす方法の情報共有がなされないという問題がある。実際に、弾が発射されるプログラムについてアドバイスを求めてくる生徒の傍らでそれを実現している生徒がいたり、解決方法がわからない生徒とそれがわかっている生徒がいたりした。それらの生徒が互いに情報共有できるように場をデザインする必要があった。例えば、中間発表と称して、生徒がどのようなものを作っているのかを周りに見せるといったことができる。作業中、生徒はかなり集中しており、授業の展開計画通りに進まないことが多かったので、時間に余裕を持ちつつ発表時間を確保することが必要であったと考えられる。

また、インフラにおいてもインターネットの接続が不安定になってしまったり、保存が適切にできていないといったりした問題が起こってしまった。

#### 4.5. 9 時間目の授業の様子と考察

9 時間目では、1~8 時間目で体験したアルゴリズム



的思考を、Excel を用いて表現する活動を行った。ここでは、フィボナッチ数列が出る問題を提示し、数列の n 番目がどのような数字になるのかを Excel を使って求めた。図 1 は配布した教材である。

生徒には、色つきの部分のみ入力させ、そのセルに入る数式をキーワードとして右に記載した。Excel を少しは使えるとして内容を設定していたが、わからない生徒が多く、TA と授業者は生徒につきっきりになってしまった。本来は色つきの部分を入力し、そのセルを選択し下までドラッグすることでフィボナッチ数列が現れるという展開であり、解説も行ったが、正しく数列が現れている生徒とそうならない生徒がいた。授業後に生徒のファイルを見て確認したところ、正しく数列が現れていた生徒は 12 名中 5 名であった。数列が出なかった原因は、生後 2 ヶ月経過しているセルは[前月の生後 1 ヶ月の数]+[前月の生後 2 ヶ月以降]で求めることができるが、適切に入力できなかった、又は、つがい (オスとメスのペア) の合計で sum を使用していなかったからであった。しかしながら、ドラッグした際にコンピュータが自動で計算をしている様子生徒からは「おぉー」という声があがっていた。

#### 4.6. アンケートの考察

ここでは、授業の目標がどの程度達成できたのかを考察していく。

「①身の回りのアルゴリズムに目を向けることが出来る。」であるが、アンケート項目「プログラムと“身近な生活”と聞いて、イメージする内容をたくさん書いてください」という質問を事前、中間、事後のアンケートにて行った。生徒全体で大きな変容は見られなかった。以下、表 10～12 に生徒の回答を引用する。上から事前、中間、事後での回答である。

表 10 S1 の回答

デジタル機器の使用にプログラムが必要。 機器プログラムどおりにしか動かないため取り扱い説明書が必要。
PC のゲームやソフト関係
プログラムによって機器が動く他にもプログラムによって誤作動も防げる

表 11 S7 の回答

PC などプログラムなので、自分たちの情報はプログラムのおかげだと考える。
身近で言えばゲームがあると思う。
料理なども、フローチャートのようにできることがなかった。

表 12 S11 の回答

携帯のアプリ、ネット上の占いや心理テストなど 音声認識ソフト
ゲーム、アプリ
ゲームやアプリ、家電製品、警報

「②自ら考え、ゲームを作り動かすことができる」と「③プログラミングを通して論理的な思考をすることができる」であるが、概ね達成できた。アンケート項目「ゲームを作成した 4 時間で感じたこと・考えたこと、その他、この 4 時間での感想をなるべくたくさん書いてください」より考察していく。生徒からは、「PC 上のため、自分で制御したことしか、動かないので、もし、不具合が生じたら、それは、自分のプログラミングが間違っているのでは、どこが間違っているのを考えるのが、楽しかった」「自分は完成しなかったので少し残念でし

月	生まれた数	生後1ヶ月の数	生後2ヶ月以降	つがいの合計
0	1	0	0	
1				
2				
3				
4				
5				
6				

各セルには以下のキーワードが入ります

キーワード	意味
=sum(C3:E3)	C3～E3の合計
=sum(C4:E4)	C4～E4の合計
=sum(C5:E5)	C5～E5の合計
=[セルの番号]	指定したセルと同じにする
=[セルの番号]+[セルの番号]	指定したセル同士を足した数にする

図 1 Excel の教材

た。どうせならつくり終わり自分でゲームをプレイしなかったです。でもゲームづくりのむずかしさやフローチャートのやり方などを知れてとてもよかったです」「どのようにやれば、できるのかすごく考えて、できたときはすごくうれしかった。自分で作ったゲームは最後まで行かなかったけど、なんとなく出来たのでよかったです」「自分でプログラミングをしている感じがとても楽しかった。また、トライアンドエラーを繰り返してやることは難しかったが、とても面白かった」といった回答が見られた。試行錯誤し生徒なりにやり方を見つけアルゴリズムを組んでいたことが分かる。一つの動作を行うにしても、複数のプログラムの組み合わせによって成り立っていることもゲーム作成を通して生徒が体感・理解していることが分かる。しかし、完成しなかったという感想が散見されることから、4時間という時間設定、又は授業の進め方については再検討する必要がある。

## 5. 本研究の成果と課題

本研究の目的は、中学校数学科において、離散数学の主にアルゴリズムに関連した一連の授業を開発し、中学校で実践することで、作成したカリキュラムの有効性と課題を明らかにしていくことであった。

授業で取り扱った教材に対しては、全ての教材に対して生徒が興味を持たせることができた。また、プログラミングに対しても、事後アンケートの回答からも分かるように、もっと取り組みたいと生徒が回答していることから、肯定的に捉えられるようになった。

今後の課題であるが、アルゴリズムと身近な生活の関連性を生徒により理解できるようにすることと、授業の時間配分をプログラミングに比重を置き、生徒の活動時間を増やすことが挙げられる。

<sup>1</sup> 本論文は、筆者の平成 27 年度千葉大学教育学部卒業論文「離散数学の学習カリキュラムの開発～中学校数学科におけるプログラミング活動を通して～」の内容を抜粋し、再構成したものである。

<sup>2</sup> 現在ある多くのプログラミング教育を扱う企業は設立が 2011 年以降のものである。このことから、プログラミング教育が重要視されたのは 2011 年以降であることが考えられる。また、プログラミング教育が認知されるきっかけとなったのは、アメリカで 2013 年 12 月 9 日から 15 日にかけて行われたコンピュータサイエンスウィークの際にオバマ大統領が発言した「全国民にプログラミングを」という内容である。

<sup>3</sup> OECD (2013) の日本に関するカントリーノートである「生徒の学習到達度調査 (PISA) PISA2012・問題解決能力の結果」より和訳を引用  
<http://www.oecd.org/pisa/keyfindings/PISA-2012-PS-results-jpn-JAPAN.pdf> (2016 年 2 月 9 日確認)

<sup>4</sup> 伊藤・宇野 (2010) は上記の定理を離散数学の美しさを代表する定理として紹介している。

<sup>5</sup> Scratch とは MIT メディアラボが開発した子ども向けのビジュアルプログラミング言語。ブロックを積み上げることで視

覚的にわかりやすいプログラミングができる。

<https://scratch.mit.edu/> (2016 年 2 月 9 日確認)

<sup>6</sup> ダイクストラ法とは、最短経路問題を解くためのアルゴリズムで、グラフ理論において使われる。応用範囲では OSPF などインターネットルーティングプロトコルやカーナビの経路探索や、鉄道の経路案内などで使われている。 (“ダイクストラ法”の項、日立ソリューションズ IT 用語辞典)

<http://it-words.jp/w/E38380E382A4E382AFE382B9E38388E383A9E6B395.html> (2016 年 3 月 6 日確認)

<sup>7</sup> PathFinding.js では 2 点間の距離を求めることができる。その際、A\*アルゴリズム・ダイクストラ法を含む 8 つのアルゴリズムと 2 点間の距離の測定方法を選択することができる。  
<https://qiao.github.io/PathFinding.js/visual/> (2016 年 3 月 13 日確認)

<sup>8</sup> A\*アルゴリズムはダイクストラ法の改良版で、通常のダイクストラ法よりも効率的に最短経路を求めることが可能になる。 (“ダイクストラ法”の項、日立ソリューションズ IT 用語辞典)

<http://it-words.jp/w/E38380E382A4E382AFE382B9E38388E383A9E6B395.html> (2016 年 3 月 6 日確認)

<sup>9</sup> PERT とは、プロジェクトマネジメントの手法の一つで、各工程の依存関係を図示して所要期間を見積もったり、重要な工程を見極めたりする手法。(中略) PERT では各工程を依存関係(前の工程が終わらないと、次の工程が始められない)に従って矢印で繋いでいき、それぞれの工程には所要時間を記入していく。出来上がったネットワーク図(アローダイアグラム、PERT 図とも呼ばれる)にはプロジェクト開始から終了まで通常いくつかの経路が現れる。経路をたどって各工程の所要時間を足し合わせていくとその経路の所要時間が求められ、その中で最大のものがプロジェクト全体の工期の見積りとなる。所要時間が最大となる経路に存在する工程はどれか一つでも遅れると全体が遅延するため、重要な工程のみが集まった「クリティカルパス」(critical path)と呼ばれる。 (“PERT”の項、IT 用語辞典 e-Words) <http://e-words.jp/w/PERT.html> (2016 年 3 月 13 日確認)

<sup>10</sup> UpSwell, Inc.

アキネーターにはサービスを提供している Elokence 社が独自に開発したプログラムエンジンである Limule が利用されている。データベースから独自のアルゴリズムを使い推測する人工知能の一種であり、そのアルゴリズムは秘密とされている。  
<http://www.upswell.jp/service-akinator.php> (2016 年 3 月 13 日確認)

<sup>11</sup> 二分探索木とは、データ構造の一つである二分木(バイナリツリー)のうち、各ノードの値よりも左の子ノードの値の方が小さく、右の子ノードの値の方が大きくなるように値を挿入したもの。親と同じ値をどちらのノードに入れるかは任意だが、毎回異なることがないようあらかじめ決めておく。 (“二分探索木”の項、IT 用語辞典 e-words)

<http://e-words.jp/w/%E4%BA%8C%E5%88%86%E6%8E%A2%E7%B4%A2%E6%9C%A8.html> (2016 年 3 月 13 日確認)

<sup>12</sup> 誤り検出符号の一つで、データ列を整数値の列とみなして和を求め、これをある定数で割った余り(余剰)を検査用データとするもの。最も単純な誤り検出方式の一種で、誤りの検出精度は低い原理が簡単で容易に実装でき、計算コストも低い。そのため、簡易な誤り検出方式として広く普及している。(中略) チェックサムを用いるとデータの伝送や記録、複製が正確に行われたかある精度で調べることができる。送信や記録の前にチェックサムを算出して元データに付加し、受信や読み出しの後に同じ個所のチェックサムを算出しておいてみて、両者が一致しなければ、その区間に含まれるデータのいずれかに誤りが生じていることが分かる。チェックサムは誤りの検出のみ可能であり、訂正はできない」というものである。 (“チェックサム”の項、IT 用語辞典 e-Words より)

<http://e-words.jp/w/%E3%83%81%E3%82%A7%E3%83%83%E3%82%AF%E3%82%B5%E3%83%A0.html> (2016 年 3 月 13 日確認)

<sup>13</sup> 流通システム開発センターは JAN コードについて次のよう

に説明している。

「JAN(Japanese Article Number)コードは、日本の共通商品コードとして流通情報システムの重要な基盤となっています。JAN コードはバーコード (JAN シンボル) として商品などに表示され、POS システムをはじめ、受発注システム、棚卸、在庫管理システムなどに利用されています。

(中略) JAN コード標準タイプ (13 桁) は、①GS1 事業者コード (9 桁または 7 桁)、②商品アイテムコード (3 桁または 5 桁)、③チェックデジット (1 桁) で構成されています」

[http://www.dsri.jp/jan/about\\_jan.htm](http://www.dsri.jp/jan/about_jan.htm) (2016 年 3 月 13 日確認)

<sup>14</sup> 日本と書コード管理センターは ISBN コードについて次のように説明している。

「書籍の裏表紙や奥付ページに「ISBN978-4-・・・」から始まる文字列が印刷されていますが、これが ISBN コードです。ISBN (国際標準図書番号: International Standard Book Number) は、固有の書籍出版物を発行形態別、1 書名ごとに識別するユニークなコードとして、今では世界 117 の国と地域 (2011.6 現在) で発行される書籍に表示されています。書誌情報 (どこの国の、何という名称の出版者が発行する、何という書名の書籍か) を特定して書籍の取引や図書目録の編纂に活用されています」<http://www.isbn-center.jp/about/04.html> (2016 年 3 月 13 日確認)

<sup>15</sup> 文部科学省 (2015b) の調査で、中学校の生徒における、キーボード入力が得意であると回答した生徒は 45.5%、否定的な回答をした生徒は 52.5%であることが明らかになっている。

<sup>16</sup> クエスト型授業の実践として、以下が挙げられる。

・ニューヨーク市のチャータースクールである「Quest to Learn」

<http://www.instituteofplay.org/wp-content/uploads/2011/02/QuestToLearn-DevelopingTheSchoolForDigitalKids.pdf> (2016 年 2 月 9 日確認)

・藤本 (2015) の実践

<sup>17</sup> クエスト (課題) として以下を設定した。

クエスト 1: ネコ (敵) の数を増やせ!

クエスト 2: ゲームオーバー時に「ニャー」と鳴かせよ!

クエスト 3: 回復アイテムを登場させよ!

<sup>18</sup> フィボナッチの兎の問題とは、Fibonacci Liber abaci

(1202) が考案したフィボナッチ数に関する問題ことである。「1 つがいのうさぎは、毎月 1 つがいの子を生む。新しく生まれたうさぎは、1 か月後から子を生み始める。最初 1 つがいのうさぎがいたとすると、1 年後には何つがいのうさぎになるか」という問題である。(奥村 (1991) による和訳を引用)

この点を踏まえて数列をとると、フィボナッチ数列が出現する。 $F_0=0$ 、 $F_1=1$ 、 $F_{n+2}=F_n+F_{n+1}$  の条件を持つ漸化式である。この数列は自然界のものに多く見られる。

## 参考文献

Frey, Carl Benedikt & Osborne, Michael A. (2013) THE FUTURE OF EMPLOYMENT: HOW SUSCEPTIBLE ARE JOBS TO COMPUTERISATION? [http://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/downloads/academic/The\\_Future\\_of\\_Employment.pdf](http://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/downloads/academic/The_Future_of_Employment.pdf) (2016 年 2 月 9 日確認)

McGonigal, Jane (2011) Reality Is Broken: Why Games Make Us Better and How They Can Change the World, Penguin. (J・マクゴニガル (2011) 『幸せな未来は「ゲーム」が創る』、早川書房)

OECD (2013) PISA 2012 Assessment and Analytical Framework, OECD publishing

秋山仁・R.L.Graham (1993) 『離散数学入門 (有限・離散の数学 1)』、朝倉書店

伊藤大雄・宇野裕之 (2010) 『離散数学のすすめ』、現代数学社

奥村晴彦 (1991) 『C 言語による最新アルゴリズム事典』、技術評論社

久野靖・辰己丈夫・佐藤義弘監修 (2008) 『キーワードで理解する最新情報リテラシー 第 2 版』、日経 BP ソフトプレス  
儀我美一 (2004) 「我が国の数学力を科学技術に生かしていくためには」、『数学で何が出来るか: なぜ科学技術に重要か、どうすれば有効に活用できるか』(科学技術政策研究所講演録 147)

首相官邸 (2015) 「世界最先端 IT 国家創造宣言」

<https://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/pdf/20150630/siryu1.pdf> (2016 年 2 月 9 日)

総務省 (2014a) 「第 3 回 ICT ドリームスクール懇談会資料 1 教育・学習分野の情報化に係る国内外の動向と先進事例」  
[http://www.soumu.go.jp/main\\_content/000311276.pdf](http://www.soumu.go.jp/main_content/000311276.pdf) (2016 年 2 月 9 日確認)

総務省 (2014b) 「平成 26 年版 情報通信白書 | 車と ICT」  
<http://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h26/html/nc141320.html> (2016 年 2 月 9 日確認)

独立行政法人 工業所有権情報・研修館 (2005) 「カーナビ経路探索技術」

<http://www.inpit.go.jp/blob/katsuyo/pdf/chart/fdenki22.pdf> (2016 年 2 月 9 日確認)

藤本徹 (2015) 「ゲーム要素を取り入れた授業デザイン枠組の開発と実践」、日本教育工学会論文誌、pp.351-361

船曳信生・内田智之・中西透 (2012) 『グラフ理論の基礎と応用』、共立出版

文部科学省 (2008a) 『中学校学習指導要領』、東山書房

文部科学省 (2008b) 「幼稚園、小学校、中学校、高等学校及び特別支援学校の学習指導要領等の改善について (答申)」

[http://www.mext.go.jp/b\\_menu/shingi/chukyo/chukyo0/toushin/\\_icsFiles/afieldfile/2009/05/12/1216828\\_1.pdf](http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chukyo/chukyo0/toushin/_icsFiles/afieldfile/2009/05/12/1216828_1.pdf) (2016 年 2 月 9 日確認)

文部科学省 (2009a) 『高等学校学習指導要領』、東山書房

文部科学省 (2009b) 『高等学校学習指導要領解説数学編』、実教出版

文部科学省 (2014) 「新学習指導要領について」

[http://jouhouka.mext.go.jp/school/pdf/kyouiku\\_tebiki.pdf](http://jouhouka.mext.go.jp/school/pdf/kyouiku_tebiki.pdf) (2016 年 2 月 9 日確認)

文部科学省 (2015a) 文部科学省 (2015a) 「教育課程企画特別部会 論点整理」

[http://www.mext.go.jp/component/b\\_menu/shingi/toushin/\\_icsFiles/afieldfile/2015/12/11/1361110.pdf](http://www.mext.go.jp/component/b_menu/shingi/toushin/_icsFiles/afieldfile/2015/12/11/1361110.pdf) (2016 年 3 月 13 日確認)

文部科学省 (2015b) 「情報活用能力調査 (小・中学校) 調査結果 (概要版)」

[http://www.mext.go.jp/component/a\\_menu/education/detail/\\_icsFiles/afieldfile/2015/03/24/1356189\\_01\\_2.pdf](http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/detail/_icsFiles/afieldfile/2015/03/24/1356189_01_2.pdf) (2016 年 2 月 18 日確認)