

小学校におけるコンピューティショナルシンキングに関する 研究

所属コース 教科領域コース
氏名 権名津 卓未
指導教員 大西義浩 山本浅幸

【概要】

本研究は、小学校段階において CT の育成を行っていくにあたって尺度を開発すること、そして、CT を育むことができる授業を検討することを目的とする。先行研究から質問項目を選定し因子分析を行った結果、4 因子からなる質問紙を作成した。また、小学校 6 年生で学習する比例の単元において、変数の見方・考え方に関する授業を提案・実践した。この結果、アルゴリズム的思考の平均点以上のグループと協調的問題解決の児童全体において授業の前後で有意差が認められた。また、授業後の振り返りシートには児童全体が実践した授業に対して肯定的な感想を書いていた。しかし、実践した授業を行うことで児童全体のアルゴリズム的思考が伸びるという仮説を立てていたのにも関わらず、アルゴリズム的思考の平均点より下のグループで有意差が認められなかった。この原因として、授業で用いたワークシートの構造や扱った問題を解いていく中でつまづきがあったことがあげられた。

キーワード コンピューティショナルシンキング

1 研究背景と目的

近年、世界は高度情報社会となりつつある。そのため、この社会に参画することができる人材の育成などが今日の教育的な課題の 1 つとなっている。

海外では、この課題解決方法の 1 つとしてコンピューティショナルシンキング(コンピューティショナル・シンキング, Computational Thinking, いずれも以下, CT と略す)という思考方法を小学校段階から導入し育むことを目指している。Department for Education(2013)によるとイギリスでは「質の高いコンピューティング教育は、子どもが CT と創造性を使って世界を理解し変革することができる」として抽象化やアルゴリズムなどを育成することを目的とした専門の教科 Computing を設置している。また、PISA(2018)は「21 世紀の数学的リテラシーには数学的推論と CT のいくつかの側面が含まれる」としており、算数・数学領域においても CT を育むことの重要性が増している。

この教育的な課題を解決するために文部科学省(2016)は、プログラミング的思考を「「CT」の考え方を踏まえつつ、プログラミングと論理的思考との関係を整理しながら提言された定義」とし、この思考方法を育むことを目的としたプログラミング教育を小学校に導入した。この教育を文部科学省(2018)は、学習の基盤となる資質・能力と位置付け、「各教科等の特質を生かし、教科等横断的な視点から教育課程の編成を図り育成すること」としている。また、日本経済再生本部(2018)は未来投資戦略 2018 の中で「義務教育終了段階での高い理数

能力を、文系・理系を問わず、大学入学以降も伸ばしていけるよう、大学入学共通テストにおいて、国語、数学、英語のような基礎的な科目として必修科目「情報Ⅰ」（コンピュータの仕組み、プログラミング等）を追加するとともに、文系も含めて全ての大学生が一般教養として数理・データサイエンスを履修できるよう、標準的なカリキュラムや教材の作成・普及を進める」という方針を立てている。これを受け、大学入試センターは大学入試共通テストの科目として情報を加えることを検討し、サンプル問題を作成している。大学入試センター（2021）の令和7年度大学入学共通テストの情報のサンプル問題を確認すると、語句の空欄補充問題だけでなく、求めたい値を出力するための方法を考察するアルゴリズムに関する問題や、事象の数値化と一般化された式を考察する、事象の数学的関連性に関する問題などCTが求められる問題がある。

このことから、CTを育む教育が高校において教科「情報」もしくは、小学校のように教科によらない形で導入される可能性があると考えられる。また、文部科学省は小学校におけるプログラミング的思考の定義でCTに関する教育を参考にしていることもあり、今後のプログラミング教育においてCTの育成が導入される可能性があると考えられる。もし、CTの育成がプログラミング教育に導入されないとしても、CTを学校教育においてプログラミング的思考とともに初期段階から育成していくことで、将来的に子どもたちが高度情報社会に参画するための力を育むという点で重要である。

本研究では、小学校段階においてCTの育成を行っていくにあたって、能力の数値化を行うための方法の1つである尺度を開発すること、そして、CTを育むことができる授業を検討することを目的とする。

2 先行研究

2.1 CTの概要と測定

CTに明確な定義はまだなく、現在もこの定義に関して世界で議論が続いている。しかし、CTの代表的な操作的定義としてWing(2014)は「人間または機械が効果的に実行できるように、問題を定式化し、その解決策を表現するための思考プロセス」と提唱している。

このCTを測定する尺度の1つとして、Korkmazら(2017)が大学生向けに開発したものがあつた。この尺度は29の質問項目があり、CTにおける創造性、協調性、アルゴリズム的思考、批判的思考、問題解決の5因子で構成されている。また、この尺度は、それぞれの質問項目に対して（1）まったく当てはまらない（2）めったに当てはまらない（3）ときどき当てはまる（4）当てはまる（5）とても当てはまる、の5件法で回答する形式となっている。この尺度を日本語に訳したものをを用いて、市原ら(2020)は高校生を対象とした研究を行っており、日本においてもこの尺度は使用されつつある。

2.2 CTと数学の関連

ケンブリッジ大学(2019)は「CTと数学的思考はどちらも抽象的な問題解決アプローチ」とし、「どの年齢でも学ぶことができる」としている。また、「CTは数学的思考と比べ、ハードウェアや現実的な制約により制約されるが、より広く適用することができる可能性がある」と示唆している。このCTと数学の関連に関して、変数の考え方に着目したZhihaoら(2021)は「CTの観点からの変数は変化する数という意味で数学的思考と相乗効果を共

有している」としている。しかし、CT と数学の変数においては Brating ら(2021)が提唱するように「非数値変数の導入は、変数の数値的側面が強調されている学校の代数を超えている」ということに注意したうえで扱わなければならない。

3 研究の仮説

本研究では、2つの仮説を立てた。まず、尺度作成のために先行文献における尺度の質問項目と対応する、小学生が分かる言葉に書き変えた項目を作成する。この対応する質問項目同士で相関分析を行い、相関が高い項目を採用し因子分析を行うことで、同様の因子構造を持つCTの尺度を作成することができるのではないかと仮説を立てた。次に、CTを育むための授業検討のために、CTと数学に相乗効果があるとされる変数に関する授業を行う。これによりCTの質問項目の中で数学的な考え方を測定する項目が向上するのではないかと仮説を立てた。

4 CT 尺度作成のための研究方法と結果

今回、CT 尺度作成のために行った調査それぞれの目的、方法、対象者、質問紙を以下に研究の手順に沿って示す。

4.1 相関関係の調査

(1) 目的

Korkmaz ら(2017)の質問紙を日本語に翻訳した市原ら(2020)の質問項目に対応させた小学生用の項目の相関関係を明らかにする。

(2) 方法

(ア) 対象者

18歳以上の方々に行う。質問項目が多くなるため4回に分けて実施する。それぞれ1回目118名、2回目101名、3回目79名、4回目87名の方々に実施した。

(イ) 質問紙

Korkmaz ら(2017)の質問紙を日本語に翻訳した市原ら(2020)の質問項目と、小学生でも理解できるように言葉を変換した質問項目を用意した。この項目に対して回答は1(まったく当てはまらない)、2(めったに当てはまらない)、3(ときどき当てはまる)、4(当てはまる)、5(とても当てはまる)の5件法で求めた。

(3) 結果

相関係数は一般的に0.7以上が高い相関とされているため、この指標を参考に相関係数が0.7前後をとる小学生用の29項目を抽出し質問紙を作成した。

4.2 CT 尺度作成のための調査

(1) 目的

4.1で作成した小学生用の質問紙を用いて、小学生の回答データを収集する。また、得られたデータを用いて探索的・確認的因子分析を行い、因子構造を明らかにし尺度を検討・作成する。

(2) 方法

(ア) 対象者

M市Y小学校6年生の3学級計89名。

(イ) 質問紙

4.1で作成した小学生用の質問項目である29項目を用意した。この項目に対して回答は1(まったく当てはまらない), 2(めったに当てはまらない), 3(ときどき当てはまる), 4(当てはまる), 5(とても当てはまる)の5件法で求めた。

(3) 結果と考察

分析には、欠損値のあるデータを除外した78名のデータを使用した。この調査で得られたデータを用いて最尤法・プロマックス回転による探索的因子分析を行った。この結果を図1とする。

図1の結果から4因子を想定し、探索的因子分析を行った。その際、項目間の負荷量の可能性から、12項目を削除した。最終的に4因子を採用した。次に、各因子について α 係数を算出した。一般的に α 係数が0.7以上であることが尺度の信頼性の指標となっている。この指標をもとにそれぞれの因子を確認すると、 α 係数が基準である0.7以上であることが確認できた。このことから、この尺度の一定の信頼性が得られた。また、適合度指標はそれぞれ $\chi^2 = 144.229$, $p = 0.029$, $CFI = 0.957$, $RMSEA = 0.059$ となった。作成した尺度の各項目の因子負荷量と各因子の α 係数と ω 係数をまとめた表を表1とする。

次に、確認的因子分析を行った。この結果、適合度指標はそれぞれ $\chi^2 = 170.636$, $p = 0.008$, $CFI = 0.943$, $RMSEA = 0.064$, $GFI = 0.815$ となった。また、今回作成した尺度から構造方程式モデルを作成した。このモデル図を図2とする。

本研究で採用した4つの因子の考察を行う。まずFactor1に含まれる項目はKorkmazら(2017)の尺度の中でアルゴリズム的思考に含まれる3項目と、批判的思考に含まれる4項目である。それぞれの思考の定義を確認すると、まず、飯田ら(2008)によるとアルゴリズム的思考の定義として「基本的な操作に分解しそれらの順序を意識する思考法」ということがあげられている。次に、楠見(2018)によると批判的思考の定義の1つとして「客観的、合理的、多面的にものごとをとらえる思考」ということがあげられている。コンピュータを用いて計算を行う際、計算方法であるアルゴリズムの性能を計算の速さや精度といった効率的・効果的といった指標で評価される。この効率的・効果的といった観点の中には様々なアルゴリズムの中からよりよいものを客観的に判断したり、アルゴリズムを考えるために方法を合理的・多面的に捉えたりすることが含まれていると考える。この考えをもとに批判的思考に含まれていた4項目を確認すると、効率的・効果的といった観点からアルゴリズム的思考として捉えることができると考える。そのため、Factor1はアルゴリズム的思考と解釈する。

次に、Factor2に含まれる項目はKorkmazら(2017)の尺度の中で創造性に含まれる4項目とアルゴリズム的思考に含まれる1項目である。アルゴリズム的思考に含まれる1項目は問題解決の方法を考えることに関する内容であることから、創造性に含まれる4項目と同様に創造性としても捉えることができる。そのため、Factor2は創造性と解釈する。

次に、Factor3に含まれる項目はKorkmazら(2017)の尺度の中で問題解決に含まれる3項目である。この3項目に関しては、もともとの尺度の中で問題解決に含まれる項目のまとまりであることから、Factor3は問題解決と解釈する。

Factor4に含まれる項目はKorkmazら(2017)の尺度の中で協調性に含まれる2項目と問題解決に含まれる1項目である。この3項目に関しては、全てグループ学習の中で協力しながら行う問題解決に関係する項目であることから、Factor4を協調的問題解決と解釈する。

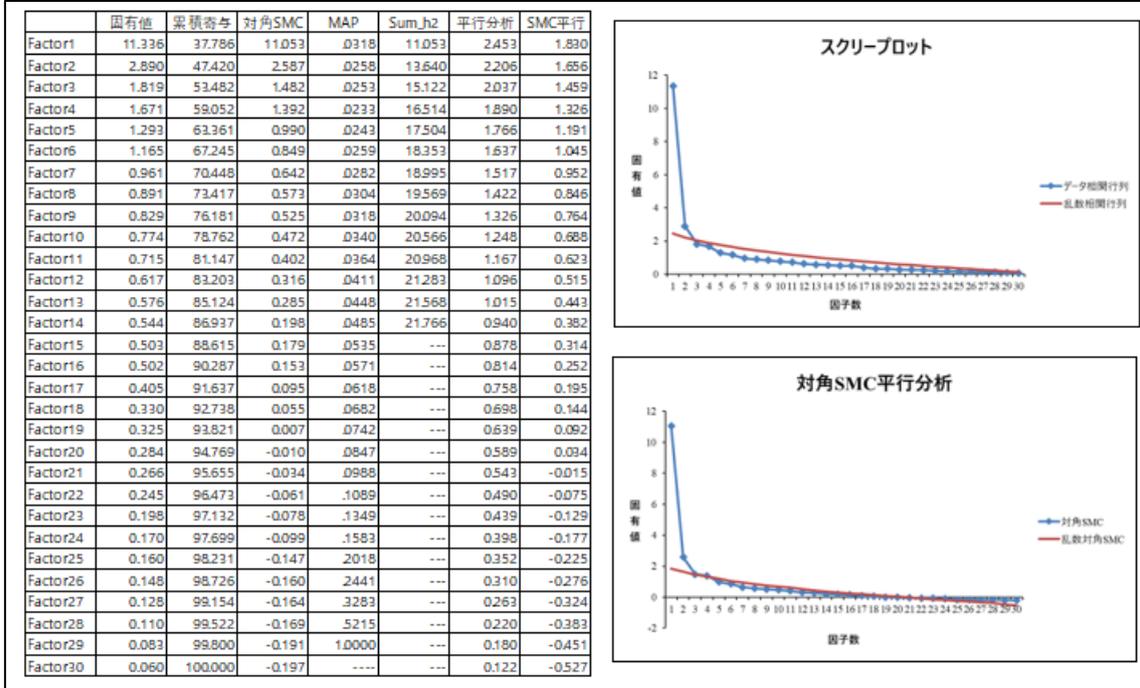


図1 探索的因子分析の結果

表1 各項目の因子負荷量と各因子の α 係数と ω 係数

	因子負荷量			
	Factor1	Factor2	Factor3	Factor4
Factor1($\alpha=.917, \omega=.930$)				
Q1 自分は算数・数学的な出来事を理解できる方だと思う。	.906	-.337	.124	.105
Q6 問題を正確に考えることができることに自信がある。	.858	.189	-.164	-.064
Q3 日常生活の問題を解決するための方法を算数・数学的に表すことができる。	.777	-.001	.074	-.105
Q4 複雑な問題を解決しようとするのは楽しいと思う。	.721	.225	-.009	-.038
Q7 いくつかの方法を比べて選ぶとき、全体的にままとまっている方法を選び、問題を解決しようとする方だ。	.696	.038	-.145	.052
Q5 難しいことを学ぶための、やる気があると思う。	.658	.147	.083	.002
Q2 自分は算数・数学的な出来事の関係をつかむことができる。	.625	-.079	.353	-.062
Factor2($\alpha=.818, \omega=.816$)				
Q10 自分はその場に応じて適切に対応し、問題を解決できると思う。	-.090	.772	-.002	.049
Q9 自分はいろいろな見方で判断ができる方だと思う。	.070	.765	-.050	.050
Q11 自分は問題を解決するために計画をしっかりと立てる方だと思う。	.072	.665	-.033	.001
Q8 自分のことは自分で考えてしっかりと判断するようにしている。	-.050	.630	.126	-.056
Q12 問題を解決するための方法をすぐに考えることができる。	.004	.529	.134	.063
Factor3($\alpha=.841, \omega=.852$)				
Q14 問題の解決に必要な情報をどこでどのように使うべきかわからないときがある。	-.026	.063	.837	.090
Q15 自分が考えている問題の解決策を、実行に移すことに自信がない。	.052	-.032	.807	.081
Q13 自分の問題解決の考え方に自信がない。	-.018	.100	.726	-.096
Factor4($\alpha=.756, \omega=.777$)				
Q16 グループの友達と一緒に協力して学習するのが好きだ。	.056	-.052	-.103	.994
Q18 グループ学習でメンバーと協力することはつかる。	-.203	.057	.174	.570
Q17 グループ学習に関連する問題を友達と一緒に解決するのが好きだ。	.169	.158	.017	.544

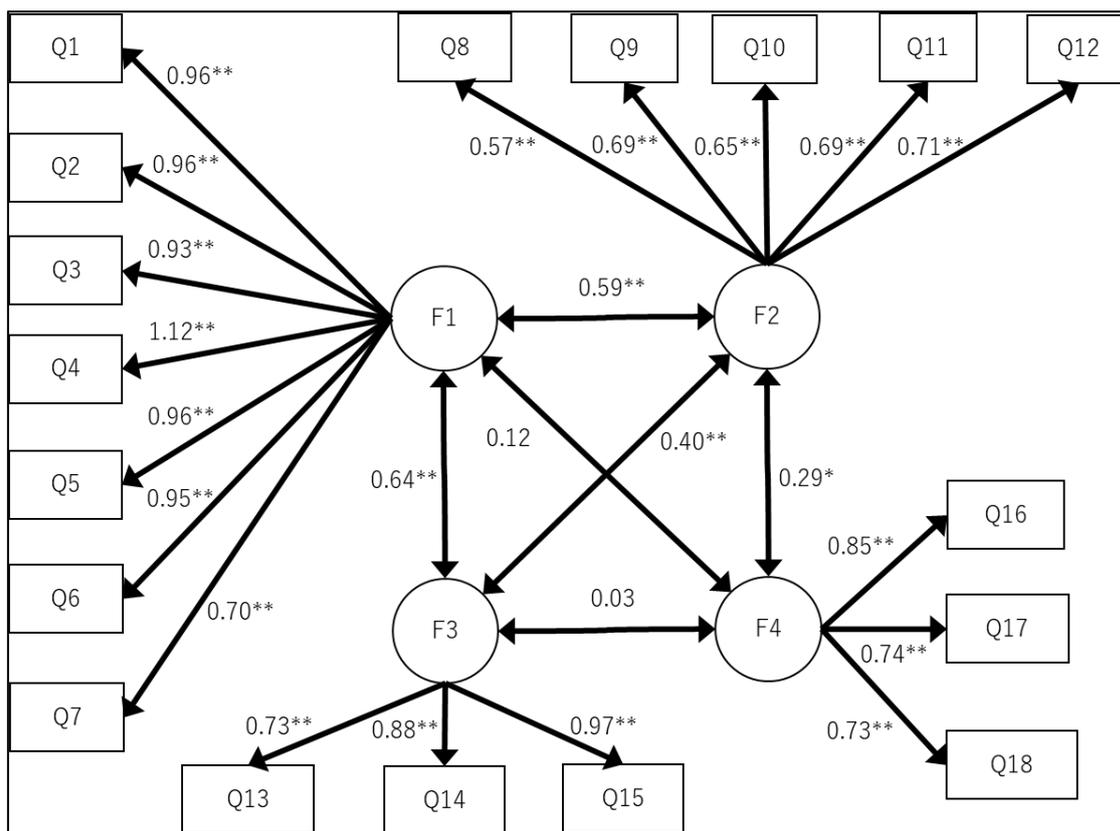


図2 CTの構造方程式モデル

5 CTを育む授業の検討

今回、CTを育む授業を検討するために行った調査の目的、方法、対象者、質問紙を以下に研究の手順に沿って示す。

(1) 目的

小学校6年生では比例について学習する。この単元では、変数と変数の関係を表、式、グラフを使って考える。この単元において通常の授業内容だけでなく、CTに関連する変数の見方・考え方にも着目した授業を行うことでCTを育むことができるかどうかを検証する。

(2) 方法

(ア) 対象者

M市Y小学校6年生の1学級計30名。4.2の調査で参加した3学級のうちの1学級の児童である。提案する授業後に質問紙調査と授業の振り返りシートを書かせる。

(イ) 授業方法

啓林館『わくわく算数6』（2019年検定済み）の12章「比例と反比例」の2直線のグラフの読み取りに関する授業を1時間実施した。

<授業の流れ>

授業開始後の3分程度で前時までに学習した内容を確認した。次に2直線のグラフの読み取り問題を確認し、10分程度で何が読み取れるかをワークシートに書かせた。その後、児童が読み取れたことを共有し教科書で出題されている4つの問題を解いた。このとき、授業の効率化などを目的としてスモールティーチャーを導入した。最後に、10分で発展問題

として今まで扱った 2 変数以外の変数を見つけさせ、アニメーションを用いて変化を視覚化し定式化を行った。

(3) 結果と考察

分析には、欠損値のあるデータを除外した 25 名のデータを使用した。第 1 回と第 2 回の質問紙調査で得られたデータの基本統計量を各因子でまとめた表を表 2 とする。また、この 2 回の質問紙調査から対応のある t 検定と効果量を算出し、各因子の変化を確認した。この結果、対象者全体では協調的問題解決 ($t(25)=3.934, p<.01, d=0.637$) において有意差が見られ、中程度の効果が確認できた。また、各因子の平均点以上と平均点より下の 2 つのグループに分け t 検定を行った。この結果、アルゴリズム的思考の平均点以上のグループ ($t(25)=2.665, p<.05, d=0.666$)、協調的問題解決の平均点以上のグループ ($t(14)=4.163, p<.01, d=1.376$) において有意差が見られ、それぞれ中程度の効果と大きな効果が確認できた。

表 2 各因子の授業前後での変化

	F1		f2		f3		F4	
	授業前	授業後	授業前	授業後	授業前	授業後	授業前	授業後
有効N	25	25	25	25	25	25	25	25
平均値	3.109	3.246	3.568	3.520	3.067	3.013	3.440	4.000
中央値	3.000	3.143	3.600	3.200	3.000	3.000	3.667	4.333
標準偏差	0.906	1.057	0.725	0.956	0.816	1.007	0.622	1.084
分散	0.820	1.117	0.526	0.913	0.667	1.014	0.386	1.176
最小値	1.571	1.286	2.200	1.600	1.667	1.000	2.000	2.333
最大値	4.857	5.000	5.000	5.000	5.000	5.000	4.333	5.000

また、振り返りシートの感想に関して、書かれた文章をもとに自然言語処理を行った。この自然言語処理では樋口(2020)が開発した KH coda を用いて形態素分析と階層的クラスタ分析を、また、Devlin ら(2018)が開発した BERT と東北大学乾研究室(2019)が公開している訓練済み日本語 BERT モデルを用いて感情分析を行った。階層的クラスタ分析では最初に 7 個のクラスタに分類されたが、より詳しくクラスタの特徴を捉えるために合併水準を参考に 11 個のクラスタに再分類した。この形態素分析と合併水準、再分類した階層的クラスタ分析の結果を図 3 とする。また、感情分析の結果、30 名すべての感想がポジティブであり、数値は平均で 0.96 と算出された。

この結果から、本授業について児童らはプレゼンテーションを用いた変数の意識づけにより児童にとって分かりやすく楽しめる授業と捉えていることが分かった。

協調的問題解決の有意差に関して、授業では話し合い活動はスモールティーチャーの導入時と新たな変数を探すときのみ行っている。そのため、この 2 つの活動の中でグラフや変数の見方・考え方を共有し問題解決を行っていったことから協調的問題解決に関する考え方が変化し効果を与えたと考察する。また、これらの経験から授業後の感想において授業が分かるという言葉の出現回数が増えたことにつながったのではないかと考察する。

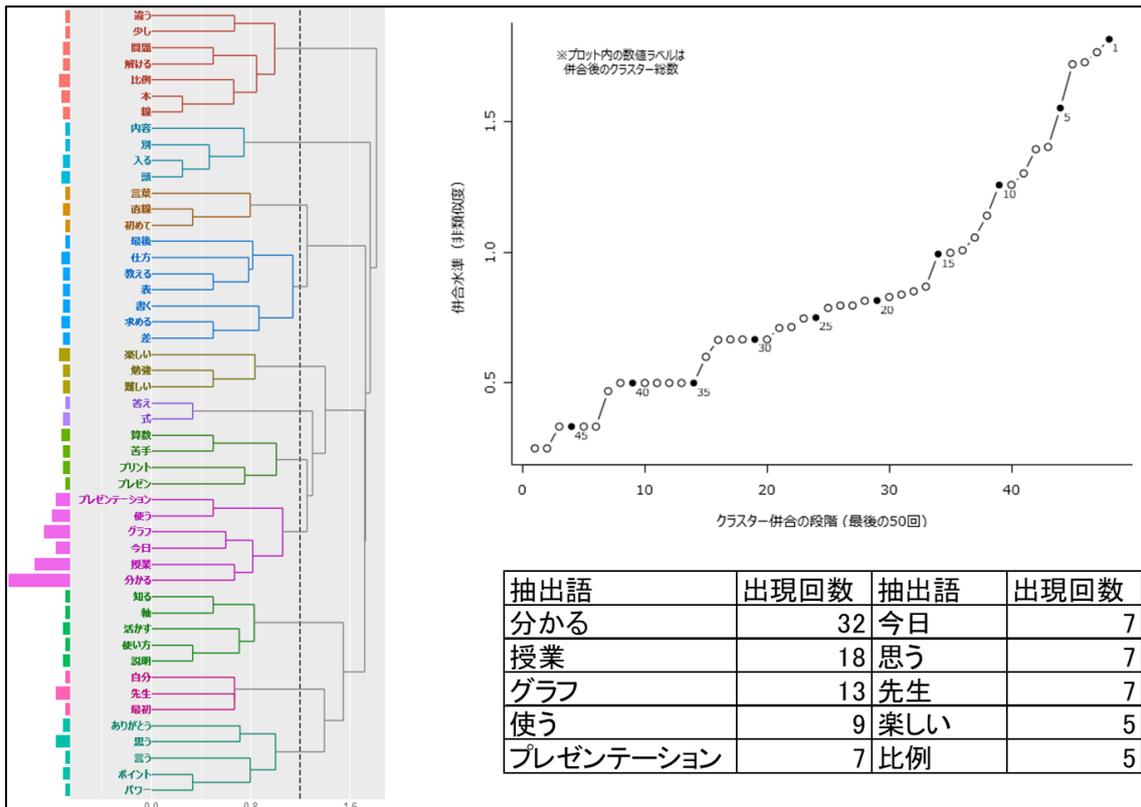


図3 形態素分析と階層的クラスター分析の結果

しかしながら、アルゴリズム的思考においては授業を行うことで全体として向上を期待していたのにも関わらず、平均点以上のグループのみ有意差と中程度の効果量が認められた。平均点より下のグループの意識が変化しなかった理由について考察するために、平均点より下のグループのみでアルゴリズム的思考の基本統計量の変化と振り返りシートの今日の授業でわかりづらかったことに書かれている文章を確認した。平均点よりも下のグループにおけるアルゴリズム的思考の変化を表3とする。

平均点より下のグループの13名がわかりづらかったことに書かっていた内容は3名がワークシートの構造に関して、3名が教科書の問題の解説に関して、2名が新しい式の作成に関して、そして5名が無回答だった。

まずワークシートに関して、児童の記述をもとに授業で用いたワークシートを確認すると、表を用いた解き方を多くの子どもが行っていたが、それ以外にグラフから読み取れることを言葉で書いていないことが確認できた。次に、教科書の問題の解説に関して、スモールティーチャー制度を導入し教師が話す時間を削減したことにより解説が不十分だったことが原因のうちの1つとして考えられる。最後に、新しい式の作成に関して、ワークシートや教科書の問題を解くといった授業過程に問題があり新しく式を導き出す前につまずきがあったと考察する。

これらの授業内での要因から、授業前と比較してアルゴリズム的思考の考え方に対する分散が大きくなったのではないかと考察する。

表3 平均点よりも下のグループにおけるアルゴリズム的思考の変化

変数名	有効N	平均値	中央値	標準偏差	分散	最小値	最大値
授業前	13	2.429	2.429	0.382	0.146	1.571	3.000
授業後	13	2.495	2.429	0.608	0.369	1.286	3.429

6 まとめ

本研究では、小学校高学年を対象としたCTの質問紙の作成とCTを育む授業の検討をするために、先行研究の尺度を参考にした質問紙調査と小学校算数科で学ぶ変数に着目した授業の提案・実施を行った。

CTの質問紙について因子分析の結果、4因子からなる質問紙を作成することができた。また、CTを育む授業の検討では2直線の読み取り時にy軸の差に注目させることを最終目的とした授業を提案・実践した。この結果アルゴリズム的思考の平均点以上のグループと全員の協調的問題解決に有意差があることが分かった。しかし、アルゴリズム的思考の平均以下のグループには有意差が見られなかった。この原因として、最終目的までの授業過程でつまづきがあったことが考えられた。

今後の展望として、2つあげられる。1つ目は、今回提案・実践した授業の再検討である。アルゴリズム的思考について、平均点以下のグループは授業の途中でつまづくことがありCTを育むことが難しかった。しかし、変数を捉え新しく立式をさせる過程では平均点以上のグループのアルゴリズム的思考を育むことができることが分かった。そのため、今回提案・実践した授業はアルゴリズム的思考を全く育むことができない授業ではないことが分かった。そのため、原因として考えられるワークシートの構造や教科書の問題の解説方法の改善を行うことでのアルゴリズム的思考の変化を確認し、授業を再度検討していきたい。

2つ目は、今回作成したCTの質問紙の継続的实施である。日本においてCTはまだ広く認知されていない。そのため、既存の教育の中でそもそもCTはどの程度育まれているのか、そしてCTは各教科の何と繋げてさせて育むことができるのか分かっていない。これらの課題を解決するための方針の1つとして質問紙の継続的实施し、分析を行ってきたい。

引用・参考文献

- 飯田周作・飯田千代・清藤武暢・佐藤創 (2008). アルゴリズム的思考の教育 情報処理学会研究報告書, 93, 57-64.
- 市原靖士・大津春輝・杉山昇太郎 (2020). 工業高校生のコンピューショナルシンキングに関する調査 日本科学教育学会年開論文集, 44, 389-392.
- 楠見孝 (2018). 批判的思考への認知科学からのアプローチ 認知科学, 25(4), 461-474.
- 大学入試センター (2021). 平成30年度告示高等学校指導要領に対応した令和7年度大学入学共通テストからの出題教科・科目情報サンプル問題.
- 東北大学乾研究室 (2019). bert-japanese 東北大学 <https://github.com/cl-tohoku/bert-japanese> (最終アクセス日2021年12月14日)
- 日本経済再生本部 (2018). 未来投資戦略2018-「Society5.0」「データ駆動型社会」への変革-, 15.

- 樋口耕一 (2020). 社会調査のための計量テキスト分析-内容分析の継承と発展を目指して- 第2版 ナカニシヤ出版.
- 文部科学省 (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.html (最終アクセス日 2020年1月18日)
- 文部科学省 (2018). 小学校プログラミング教育の手引き(第三版), 9.
- CAMBRIDGE Mathematics ESPRESS (2019). Computational conceptions of mathematical and computational thinking cycles.
- Department for Education (2013). National curriculum in England: computing programmer of study *GOV.UK* <https://www.gov.uk/government/publications/national-curriculum-in-england-computing-programmes-of-study/national-curriculum-in-england-computing-programmes-of-study> (最終アクセス日 2021年12月14日)
- Jacob, Devlin・Ming-Wei, Chang・Kenton, Lee・Kristina, Toutanova (2018). BERT: Pre-training of deep bidirectional transformers for language understanding *arXiv preprint arXiv:1810.04805*.
- Kajsa, Brating・Cecilia, Kilhamn (2021). Exploring the intersection of algebraic and computational thinking *MATHEMATICAL THINKING AND LEARNING*, 23(2), 170-185.
- OECD (2018). PISA 2022 MATHEMATICS FRAMEWORK(DRAFT).
- Özgen, Korkmaz・Recep, Çakir・M. Yaşar, Özde (2017). A validity and reliability study of the Computational Thinking Scales (CTS) *Computers in Human Behavior*, 72, 558-569.
- Wing, J, M (2014). Computational thinking benefits society. 40th Anniversary Blog of Social Issues in Computing <http://socialissues.cs.toronto.edu/2014/01/computational-thinking/> (最終アクセス日 2021年12月14日)
- Zhihao, Cui・Oi-Lam, Ng (2021). The Interplay between Mathematics and Computational Thinking in Primary School Students' Mathematical Problem-solving within a Programming Environment *Journal of Educational Computing Research*, 59, 1-34.

謝辞

愛媛大学大学院教育学研究科の先生方や、本研究の趣旨を理解いただき快く調査にご協力して下さった小学校の先生方や児童の皆様に深く御礼申し上げます。