

算数・数学の学びを促す教材としてのコミック開発とその検証

東京大学国際高等研究所ニューロインテリジェンス国際研究機構 辻 晶
東京大学国際高等研究所ニューロインテリジェンス国際研究機構* 石川 めぐみ
東京大学国際高等研究所ニューロインテリジェンス国際研究機構 バーベア モニカ
Kyiv Academic University ·
東京大学国際高等研究所ニューロインテリジェンス国際研究機構 マモノヴァ ガンナ
東京大学国際高等研究所ニューロインテリジェンス国際研究機構 中村 アーロン
Laboratoire de Sciences Cognitives et Psycholinguistique, EHESS, CNRS, ENS,
PSL University · Université de Paris クリモン セシル

Development and validation of comics as teaching materials to promote learning of mathematics

International Research Center for Neurointelligence, UTIAS, The University of Tokyo,
TSUJI, Sho

International Research Center for Neurointelligence, UTIAS, The University of Tokyo,
ISHIKAWA, Megumi

International Research Center for Neurointelligence, UTIAS, The University of Tokyo,
BARBIR, Monica

Kyiv Academic University, International Research Center for Neurointelligence, UTIAS,
The University of Tokyo, MAMONOVA, Ganna

International Research Center for Neurointelligence, UTIAS, The University of Tokyo,
NAKAMURA, Aaron

Laboratoire de Sciences Cognitives et Psycholinguistique, EHESS, CNRS, ENS, PSL University,
Université de Paris, CRIMON, Cécile

要 約

数学的概念の理解は、その後の学業成績に影響を及ぼす重要な能力である。日本の児童・生徒の算数・数学の成績は、国際ランキングで常に上位にあるが、性別や家庭の社会経済状況によって差があり、算数・数学の課題を行う際の意欲や楽しさは国際的に低いことが報告されている。本プロジェクトの目的は、算数・数学の概念を、数学研究の歴史的発展とその概念を必要とする文脈に埋め込み、楽しく遊びながら学べるような漫画を開発することである。我々は、従来の教材と漫画による学習効果を比較評価するために、無作為に選ばれた被験者グループによる比較研究を計画した。小学 6

* 現所属：津田塾大学学芸学部英語英文学科

年生（11，12歳）の被験者は，実験グループと対照グループに分けられ，コミック教材または従来のテキスト教材から組み合わせ論について学習した。被験者の一般的な数学の知識と特定の数学の知識，また数学教育に対するやる気と姿勢を評価するために，事前と事後のテストを受けた。この調査の結果，どちらの教材から学習しても有意な学習効果は見つからなかった。その理由とさらなる研究の方向性について議論する。

【キーワード】算数教育，教育漫画，社会的相互反応，ランダム化比較試験

Abstract

Grasping mathematical concepts is an important skill with cascading effects on later academic achievement. Japanese students rank consistently high in international maths rankings, but their maths performance differs by factors such as gender and family socio-economic status and reported motivation and joy while performing maths tasks is internationally low. We developed a maths comic in order to teach mathematical concepts in a fun and playful format. We designed a randomized control trial study to assess the effect of learning through comics. Children were be enrolled in the experimental or control groups to learn about combinatorics from comics or traditional material. They underwent pre- and post-tests to assess their general and specific maths knowledge as well as their motivation and attitude towards maths education. We did not find any significant learning effect after learning from either material, and discuss possible reasons and further research directions.

【Keywords】Mathematics education, educational comics, randomized control trial

本文

数学的知識を活用して事象を把握したり，説明・予測したりする能力の育成は，子どもたちの現在と将来にわたる可能性を引き出すための重要な発達上の課題である。日本では，子どもたちの成績は上位をキープしている一方（OECD調査），全ての子どもたちに平等に教育や学習機会が行き届いているわけではなく，性別，社会経済的地位によって成績の格差が生じてしまっている（Mullis et al., 2020）。さらに，算数・数学に対する学習態度に目を向けると，日本の子どもたちの「算数・数学を学ぶ楽しさ」「算数・数学を学ぶことの有用性・価値」に対する自己評価は国際平均を下回っている。

本研究では，全ての子どもたちに平等に教育や学習の機会が行き届くようにするための端緒として，算数・数学を楽しく学び（Steinmayr, R. et al., 2009），学んだ事柄がどのように生活場面で役立つかの理解を深めるような教材としてのコミック開発及びその検証に取り組んだ。

学習用コミックは教育教材として近年注目されており（Akcanca, 2020），子どもたちの科学に対する前向きな学習態度を形成する効果が示されている（Hosler et al., 2011）。学習用コミックには，主に文章からなる伝統的な教育教材と比較して，ストーリー構造や視覚的效果，ユーモア等の要素を提供しやすいという利点がある。ストーリー構造は，学習内容に関する知識を，周辺知識も含

めて包括的かつ一貫性を持って提供できることから、主要テーマの把握を促すと共に (McDrury et al., 2001), 子どもの興味を引くような文脈を設定することで学習への動機を高めたり, 学習テーマと実生活との繋がりを認識したりする上で有用であると報告されている (Toh et al., 2016; Lin et al., 2015)。また, 視覚的効果は, 抽象的で複雑な概念をより理解しやすくする (Weitkamp et al., 2007)。さらに, ユーモアは, 学習内容をうまく理解することが難しい場合であっても, 学びに対するためらいや恥ずかしさを軽減することができる。そのため, ユーモアを含んだコミック教材は, 学習に対する心理的敷居を下げつつ, モチベーションの低下を防ぐことにも寄与する。

コミックがもつこれらの利点を学習場面に活用したという事例報告も多数なされている。例えば, 大学生の日本語文章力を高めるためにコミックを使用した例や (Özdemir, 2010), 大学生を対象とした数学概念理解の例 (Kusrini et al., 2020) 等が挙げられる。特に, 日本においてコミック・マンガは日常生活に深く浸透しており, 幅広い層の子どもたちにとって格好の学習教材となり得る (Akashi, 2020; Nakazawa, 2005)。このように, 学習用コミックが有効な教材であることを示す多くの根拠がある一方で, 算数・数学のような抽象的な題材にコミックを適用した場合の初等・中等教育課程における教育効果については, 体系的な調査はほとんどなされていない。

本研究は, 養育者や子ども自身が実際に認識しているニーズに基づき, 数学, コミックデザイン, 発達心理学の各専門家から構成されるチームによって, 算数・数学教育のためのコミック教材を開発し, その効果を検証・評価した。

本研究では, 子どもは自宅で自分の好きな時間に開発した教材の学習ができるものとしたため, 家庭内で使用するコミック教材がもつ教育効果を明らかにする試みでもあった。

方 法

本研究は, コミック教材の開発, コミック教材の効果検証, 検証結果の評価という3つの計画から成り立っている (図1)。

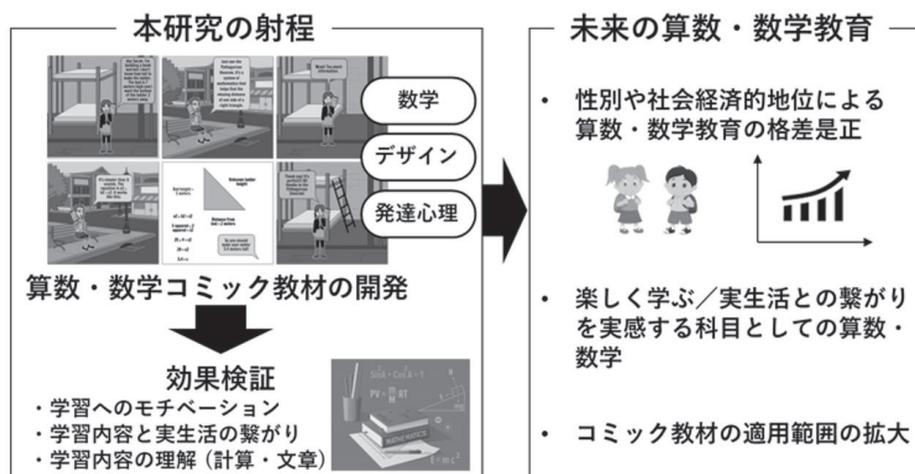


図1 本研究の全体像

計画 1: コミック教材やコントロール教材の開発

算数・数学的リテラシーを高めるためのテーマとして「場合の数」を選んだ。共著者である Ganna Mamonova 先生が、ウクライナで出版している小学高学年レベルのコミックをベースにし、日本語・日本文化に適応させた。Mamonova 先生が制作したコミックは、場合の数について教えつつ、子どもが興味をもつ文脈やストーリー、ユーモアを取り入れている。子どもが共感できる主人公が、場合の数の父とも言える数学者のパスカルが生きている時代にタイムトラベルし、場合の数の誕生や発展の経緯、歴史的背景、さらに、その時代のフランスの歴史に触れる設定となっている。この内容自体は日本の小学高学年生にとっても興味関心を促す内容だと判断し、この教材を翻訳し、数学的表現を日本の教育標準に合わせ適応させた。

翻訳は3人の日本語母語話者で分けて行い、疑問が起きた場合には他の翻訳者と相談しながら解決する形で進めた。また、専門的内容に関しては、日本の算数・数学の教員と相談しながら進めた。

日本のカリキュラムを踏まえ、本コミックの内容は、前提知識の多くは学習済みであり、且つコミック自体の内容はまだ習っていないという点で小学6年生に相応しいと判断した。ウクライナと日本のカリキュラムには大きな違いも見られるため、部分的には日本の小学6年生にはまだ前提知識が足りないと思われる内容も含まれていたが（階乗や平方根など）、コミックの中でストーリーの中で理解できるように説明を試みておりコミックの内容を変えるほどではないと判断した。

また、コミック教材の効果検証を行うためには、コミック教材で学習する実験グループと、同じ内容のコミック教材ではない教材で学習するコントロールグループが必要となるため、コミック教材ではない教材の準備が必要であった。そのため、コミックで教えられるコンセプト・数式を全て文章化し、コミックにおけるストーリーの部分を排除したテキストだけの教科書バージョンの教材も作成した（図2）。下記で説明する通り、コミック教材を実験グループ、テキスト教材をコントロールグループに割り当てた。



図2 テキスト教材（左）とコミック教材（右）の表紙

計画 2: コミック教材の効果検証

調査対象（被験者）

正常に発達している小学 6 年生 37 人を分析対象とした。私立小学校や私学受験のため塾に通う児童の場合、学習レベルが大きく異なる可能性が考えられ、児童間の学習内容にも差が見られる可能性がある。そのため、この調査では、主に公立小学校に通い、塾に通っていない児童をターゲットとした。分析対象の 20 人(女性 8 人, 平均年齢 11 歳 11 ヶ月, 範囲 11 歳 5 ヶ月から 12 歳 4 ヶ月)を実験グループ(コミック教材)に, 17 人(女性 10 人, 平均年齢 11 歳 10 ヶ月, 範囲 11 歳 5 ヶ月から 12 歳 4 ヶ月)をコントロールグループ(テキスト教材)に割り当てた。

他の 12 人は分析対象から外した。うち, 8 人は調査途中で離脱, 4 人は調査は完了したがテキストの内容に間違いがあった(調査方法と教材のセクション参照)。計画した最終サンプルサイズ(1 グループあたり 30 人)に達するまで募集, 調査を続ける予定だが, 本最終報告書の作成に向けてこれまでに収集されたデータをもとに分析した。被験者はソーシャルメディア, 当研究室の協力者データベース, および連携する他の児童発達研究機関からの案内により募集し参加者を集めた。実施にあたり, 参加生徒の保護者にはオンラインで調査の説明をし, インフォームドコンセントを得た。また可能な場合, 調査前に保護者から子どもに簡潔に調査の説明をしてもらい, 子ども自身からも参加の同意を確認してもらった。参加者には完了したのち謝礼として 3,000 円を支払った。本研究は東京大学倫理審査専門委員会により承認された。

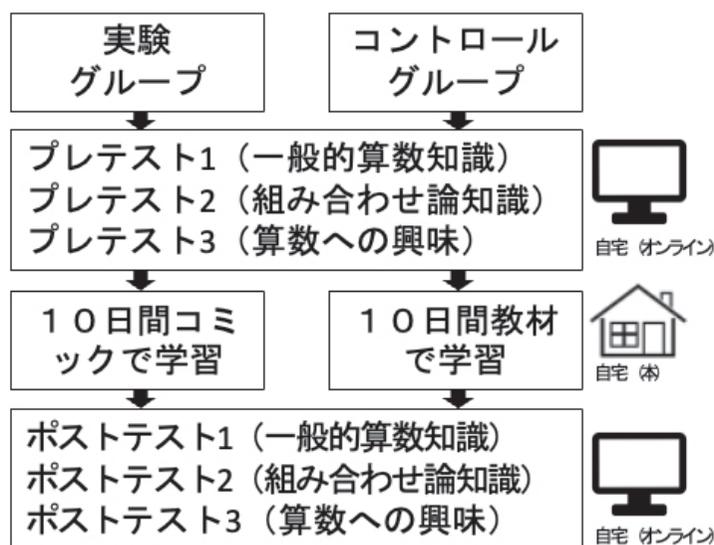


図 3 コミック教材の効果検証計画

調査方法と教材

一般的な教科書の教え方との学習効果を比較するために, コミックを使って学習する実験グループに加え, 教科書に準ずる教材で「場合の数」について学習するコントロールグループも設けた(図 3)。それぞれのグループに属する生徒を, ランダムに振り分けた。2つのグループにおける調査の流れは,

教材を自宅で10日間学習してもらい、学習期間の事前・事後にオンラインで3つのアンケートに答えてもらった。テスト1では一般的な算数・数学の知識を測定する質問を8問出題、テスト2では「場合の数」の知識を測定する質問を8問それぞれ出題した。どちらのテストも3段階の出題難易度を組み合わせた問題を出題することで、算数の概念知識や理解の変化を幅広く測定できる設定とした。テスト3では算数・数学への興味やモチベーションを測定する質問を設けた。テスト1とテスト2に関してはそれぞれ2つのバージョンを作った。2つのバージョンにはそれぞれ違う問題を出題したが、質問の数、種類、難易度は同等にした。被験者の半分はそれぞれのテストのバージョン1を事前、バージョン2を事後に受け、半分はその逆で受けた。テスト3に関しては事前と事後で同じ質問が提示された。ただし、事後調査では、教材を何回読んだか、読書にどれくらい時間がかかったかななどの読書フェーズの経緯についての質問も追加された。それぞれの質問紙の例を表1にまとめた。

表1 質問紙の例文

テスト1 (一般的な算数の知識)	例1, 次の計算をしなさい。 $9 \times 9 \times 9 \div (9+9+9)$ (回答: Free answer) 例2, バスには50人の乗客を乗せることができます。195人の乗客を乗せるために必要な最小の便数は何便でしょう? (回答: Free answer)
テスト2 (場合の数の知識)	例1, 郵便局には封筒が5種類、切手が6種類あります。真央さんは、おばあちゃんの誕生日のお祝いに手紙を送ることにしました。封筒に切手を貼る組合せは何通りですか。 (回答: Free answer) 例2, おばあちゃんは真央さんにプレゼントを用意することにしました。お店には4種類のぼうし、8種類のリュック、3種類のくつがあり、それぞれ一つずつを選びます。おばあちゃんが真央さんに用意できるぼうし、リュック、くつの組合せは何通りですか。 (回答: Free answer)
テスト3 (算数への興味やモチベーション)	例1, 数学は好きですか? (回答オプション: とても好き・好き・どちらでもない・好きではない・全然好きではない) 例2, 数学は簡単だと感じますか? (回答オプション: 簡単・やや簡単・どちらでもない・やや難しい・難しい)

オンラインで保護者がインフォームドコンセントを受け同意した後、3つの事前アンケートの画面に遷移し、子どもたちは保護者の助言無しで自力で回答した。およそ30分で回答が完了する内容とした。事前アンケートへの回答を終えると、教材(コミック教材もしくはテキスト教材のどちらか)が郵送され、受領後、参加した生徒に10日間読んでもらった。この期間中に少なくとも1回は本を全て読み、その後は必要に応じて一部または全体を読み返してもらおうよう指示をした。読書期間を終えると再度ログインしオンラインで3つの事後アンケートに回答した。実際には、家庭での日常生活の中でこの10日間の期限を守るのは難しいことが分かったため、読書をスタートさせてから1ヶ

月以内に事後アンケートまで完了した参加者のデータも対象として含めることとした。研究を開始して間もなく活字のみの教本に内容の誤解を招く可能性のある書式の誤りがあることに気づいたため、参加者が容易に閲覧できる誤りと修正をリストした正誤表を作成した。教材を参加者に郵送する際にこの正誤表と説明を同封した。そして、正誤表を作成する前に既に教材を郵送済みで学習中の段階にあった参加者には電子メールで正誤表を送り、学習を完了する 10 日間に加えて更に 4 日間期間を延長した。また正誤表を渡す前にすでに調査を完了した参加者のデータは分析から除外した。

分析計画

全ての分析において Open Science Framework に事前登録した。

分析 1：教材の効果

自宅で自由学習により教材を読むことで、算数・数学の知識が上がるかどうかについて、算数・数学テスト（テスト 1, 2）の事前・事後の回答の正確さの比較をして評価した。また、コミック教材はテキスト教材よりも学習効果が高く見られるかを調べるため、テストの正確さとグループとの相互作用を測った。さらに、その効果は組み合わせ論特有（テスト 2）のみに出る可能性も、算数一般の知識（テスト 1）のみにも見られる可能性もあり、それをテストの種類との相互作用を測ることにより評価した。一般化線形混合効果モデル（Generalized linear mixed effects model）を使い、テスト 1 とテスト 2 の回答の正確さを従属変数とした。テストのタイミング（事前・事後）、グループ（テキスト・コミック）、テストの種類（一般的な算数・数学知識（テスト 1）・組み合わせ論の知識（テスト 2））とその相互作用を独立変数とした。また、参加者のランダム効果を許容した。

分析 2：自信の効果

条件間の学習効果は、被験者の回答の自信によって異なる可能性があるため、テスト 1 とテスト 2 の回答の正確さを従属変数とした。テストのタイミング（事前・事後）、グループ（テキスト・コミック）、その相互作用を独立変数とした。また、参加者のランダム効果を許容した。

分析 3：数学に対する感想

条件間の学習効果と、被験者の算数への感想、興味や態度の関係を測定するために、いくつかの分析を行った。この場合、場合の数（テスト 2）の回答の正確さにしぼり、その事前・事後の差を従属変数とした。「数学は好きですか?」、「数学は簡単だと感じますか?」、「数学が好きな友達は何人くらいいますか?」の質問に対する 5 段階評価（リッカート尺度）への回答を独立変数としたモデルを各々 1 つ立てた。どのモデルに関しても、テストのタイミング（事前・事後）、グループ（テキスト・コミック）、その相互作用も独立変数とした。他のテスト 3 の質問に関しては、記述統計データをもって報告とした。

結果

計画3: コミック教材の検証結果の評価

分析1: 教材の効果

分析の結果から、事前・事後テストの結果には有意な差は見られなかった。(事前テスト $m = 7.78$, $SD = 3.22$; 事後テスト $m = 7.41$, $SD = 3.05$; $\chi^2(1) = 0.70$, $p = .403$, $d = 0.05$)。

この結果は、教材を使用した学習の介入は被験者の算数・数学の知識向上につながらなかったことを示している。教材グループ(コミック・テキスト)の主効果にも有意な差は見られなかった。(コミック $m = 15.55$, $SD = 5.90$; テキスト $m = 14.76$, $SD = 3.70$; $\chi^2(1) = 0.24$, $p = .625$, $d = 0.05$)。このことから、算数・数学の知識向上は教材の種類には依存していないことが示された(図4)。さらに、タイミング(事前・事後)、グループ(コミック・テキスト)、テスト(算数一般・組み合わせ論; $\chi^2(1) = 0.07$, $p = .792$)の3つの要因の間に有意な相互作用は見られなかった。また、タイミングとグループ($\chi^2(1) = 0.46$, $p = .498$)、タイミングとテスト($\chi^2(1) = 0.16$, $p = .686$)、グループとテスト($\chi^2(1) = 0.001$, $p = .9701$)のそれぞれ2つの要因の組み合わせにおいても有意な相互作用は見られなかったことから、教材の種類や算数・数学の知識向上に特有の改善の証拠は得られなかった。

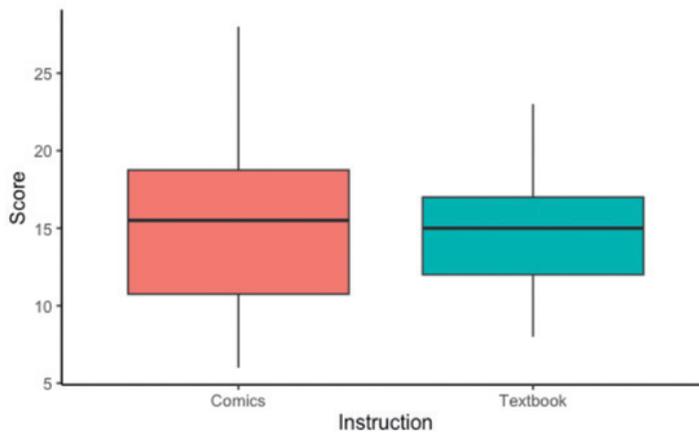


図4 グループの正解への効果

テストには有意な主効果が見られ、算数一般のテストの総合得点 ($m = 9.46$, $SD = 21.6$) は、場合の数のテストよりも高かったことが示された ($m = 5.73$, $SD = 3.25$; $\chi^2(1) = 69.77$, $p < .001$, $d = 0.48$, 図5)。

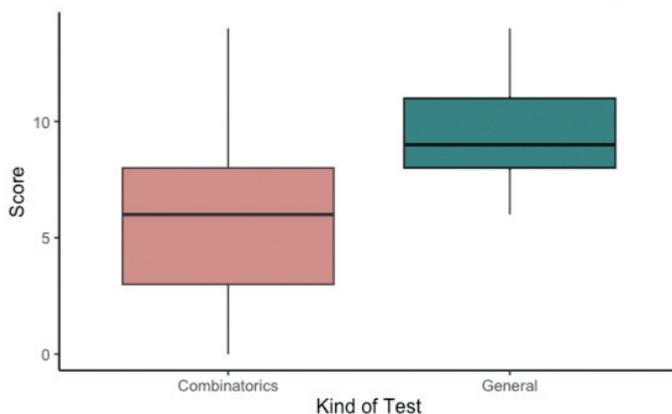


図5 テストの正解への効果

テストの順序には有意な差が見られた。方法の節で述べたように、被験者の半分はテスト1とテスト2のバージョン1を事前テスト、バージョン2を事後テストとして回答し、もう半分がその逆の順番でテストを受けた。テスト間の難しさを算数・数学の専門家が統制していたにも関わらず、場合の数の正解に関してはその順番効果が見られた。事前テストのバージョン1とバージョン2の正解には差が見られなかったが、ポストテストに関してはバージョン間に有意な差が見られた ($t = 2.25$, $p = .031$)。

分析2：自信の効果

自信の効果に関する分析では、自信とテストの結果の正確性に正の関連が見られ、より高い自信はより高い正確性と関連していることが示された ($\chi^2(1) = 193.41$, $p < .001$, 図6)。その他には有意な主効果や相互作用は得られず、したがって、自信の効果はタイミングとグループには影響されなかったことを示している (タイミング: $\chi^2(1) = 0.70$, $p = .403$; 自信 x タイミング: $\chi^2(1) = 0.55$, $p = .759$; 自信 x グループ: $\chi^2(1) = 0.76$, $p = .684$; 自信 x タイミング x グループ: $\chi^2(1) = 0.55$, $p = .458$)。

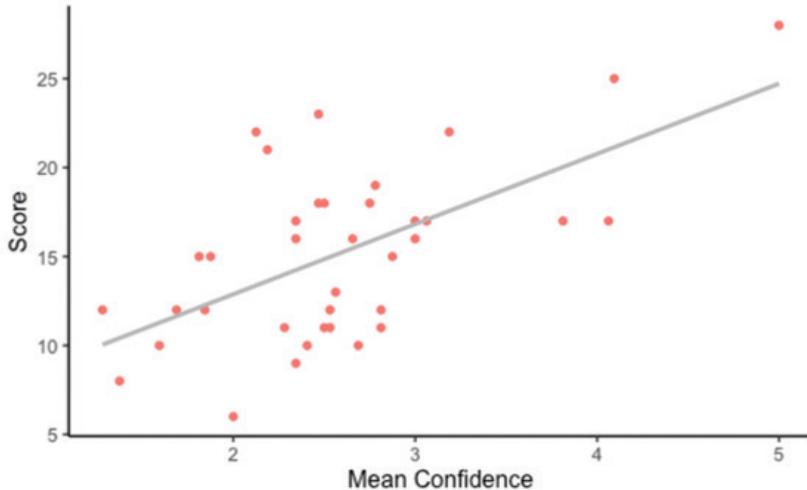


図6 自信と正解の関係

分析3：数学に対する感想

被験者の算数・数学に対する感想と正確性の変化との間には有意な差は見られなかった。算数・数学が好きかどうか ($F(2,33) = 0.11, p = .900$), 算数・数学が簡単だと感じるかどうか ($F(2, 33) = 0.15, p = .858$), また算数・数学が好きな友達がどれくらいいるか ($F(2,33) = 0.909, p = .413$) について、事前・事後テストの正確性の差に有意な影響を与えることは観察されなかった。

また、より一般的な感想の変化も事前と事後で調査した。その結果、教材による介入後には被験者は算数・数学をより難しいと感じるようになったことが示された(事前： $m = 3.13, SD = 1.17$, 事後： $m = 2.73, SD = 1.12, t(36) = 2.49, p = .017$)。

考 察

この調査では、自宅での組み合わせ論の教材自由学習が組み合わせ論や算数一般の理解を向上させるか、そして、コミック教材がテキスト教材より効果が高いかを検証した。また、回答の自信の効果、算数・数学への興味や動機の効果も検証した。その結果、教材の種類や算数・数学の知識の種類(一般的な算数・数学の知識、場合の数に関する知識)に特有の介入効果は有意な差が得られなかった。効果が見られなかった理由はいくつか考えられる。第一に、計画されていた各グループ30人のサンプルサイズを達成することができなかった。当研究室は主に乳幼児に特化した研究を実施しており、必要な年齢の子どもを募集することが予想以上に困難であったことが要因である。当初、同等の算数指導を学校で受けていることを被験者条件としたため、特定の進学塾に通っていない子どもを対象とした。しかし、塾などに通っていない児童にとっては、本研究で提案されているような教育指導要領以上の内容に不慣れであり興味関心があまり高くなかった可能性が考えられ、このことが、被験者を集めることを難しくさせていた可能性がある。しかし、もしサンプルサイズを達成できたとしても、

現状の予備的な結果とその効果のサイズの低さから、いずれの効果についても非常に大きくなる可能性は考えにくいことが示唆される。(例：事前テストと事後テストの差の $d = 0.05$ の発見された効果サイズの場合、0.80 の検出力と $p < .05$ の有意水準を仮定した場合、有意な効果を見つけるには 2,000 人以上の被験者が必要であった。)

第二の理由として、場合の数のテストのバージョン間の難易度に見られた差が挙げられる。この差は、事前テストと事後テストの間に、より微細な違いを見逃す可能性があり、今後の研究では 2 つのテストの難易度をより注意深く調整する必要がある。

第三の理由として、自由学習が挙げられる。このことにより、被験者が実際に教材を読んだかどうか、さらにどれだけ注意深く読んだかどうかをコントロールすることが難しくなっていた。したがって、教材そのものは効果を持っていた可能性があるが、現状の実験デザインでは被験者が教材を十分に熟読することに成功していなかった可能性が考えられる。コミック教材のさらなる特徴は、子どもが自宅で自分の好きな時間に学習できるということであろう。COVID-19 の感染拡大により多くの子どもたちが自宅からオンライン環境で授業を受けざるを得なくなった昨今の状況を考慮すると、この要素はコミック教材の大きな特徴だといえる。COVID-19 がもたらした社会的環境の変化は、子どもたちの算数・数学教育に対する意欲や自己肯定感を削ぎ、不安を増大させているとの指摘がある。そのため、本研究で提案するような「家庭で自発的に取り組める魅力的な学習方法」としてのコミック教材は、現行の算数・数学教材に新たに加える価値を十分に有している。しかしながら、本調査の結果を考慮すると、今後の調査ではコミック教材の効果の検証は自由学習ではない方法を取る必要があらう。

テストの主効果に関しては、一般的な算数・数学のテストに対する正確性は、場合の数のテストの問題の正確性よりも高いことが分かった。このことは、一般的な算数・数学の知識が学校で学んでいた分野によって補完されていたことに対して、場合の数に関する知識はそうではなかった部分が大きく、これはテストそのものが本教材で目指すべき方向に効果的に対応していたことの一指標を示している。

本教材を使用した学習により、被験者は算数・数学を学習前より難しいと感じることが分かった。このことは、新しい概念を導入したことが影響している可能性が考えられ、被験者は、学校ではまだ教わっていない新しい概念に対処しようと試みたことが示唆される。

自由学習が、コミック教材から成功するかどうかについては、学習者の動機に非常に大きく依存する可能性があり、その動機は学習者の具体的な興味にも大きく依存するのかもしれない。本研究では、主に子どもたちが参加することに興味を持つ保護者を募集したが、将来的には、子どもたち自身を対象とし、参加に興味を自らもつ子どもを被験者として選択することで、このような教材と学習による介入効果が高まる可能性がある。

まとめとして、本研究では、自由学習が算数・数学の知識向上に成功したという証拠やコミック教材の学習効果についても証拠は得られなかった。

引用文献

- Akashi, Y. (2004). *How do we understand manga reading comprehension?* Meiji Tosho.
- Akcanca, N. (2020). An alternative teaching tool in science education. *Int. Online J. Educ. Teach.*, 7 (4), 1550–1570.
- Farinella, M. (2018). The potential of comics in science communication. *Journal of science communication*, 17(1), Y01.
- Hosler, J. et al. (2011). Are comic books an effective way to engage nonmajors in learning and appreciating science?. *CBE Life Sci. Educ.*, 10(3), 309–317.
- 文部科学省. (2017). 小学校学習指導要領解説算数編.
- Kusrini, D. et al. (2020). The development of comics as a media to improve Japanese writing skill. In *4th International Conference on Language, Literature, Culture, and Education (ICOLLITE 2020)*, Atlantis Press (pp. 155–163).
- Lin, S. F. et al. (2015). Are science comics a good medium for science communication? *Int. J. Sci. Educ., Part B*, 5(3), 276–294.
- McDrury, J. et al. (2001). Achieving reflective learning using storytelling pathways. *Innov. Educ. Teach. Int.*, 38(1), 63–73.
- Mullis, I.V.S., Martin, M.O., Foy, P, Kelly, D. L., and Fishbein, B. (Eds.). (2020). *TIMSS 2019 International results in mathematics and science*. TIMSS & PIRLS International Study Center.
- Nakazawa, J. (2005). Development of manga (comic book) literacy in children. In D. W. Shwalb et al. (eds), *Applied Developmental Psychology*, Information Age Publishing (pp. 23–42).
- OECD (2019). *PISA 2018 assessment and analytical framework*. OECD Publishing.
- Özdemir, E. (2010). *The effect of instructional comics on sixth grade students' achievement in heat transfer* [Ph.D. thesis]. Middle East Technical University.
- Steinmayr, R. & Spinath, B. (2009). The importance of motivation as a predictor of school achievement. *Learning and Individual Differences*, 19, 80–90 Learn.
- Toh, T. L. et al. (2016). Use of comics and storytelling in teaching mathematics. In *Developing 21st Century Competencies In The Mathematics Classroom* (pp. 241–259). [12]
- Weitkamp, E. et al. (2007). The Chemedian brings laughter to the chemistry classroom. *Int. J. Sci. Educ.*, 29(15), 1911–1929.

謝 辞

本研究への貴重なご助言を賜りました聖光学院中学校・高等学校数学科富田崇教諭，に感謝申し上げます。