

プログラミング的思考を育む算数指導の在り方

－作問学習支援システムを活用して－

Mathematics instruction to foster programming thinking

By utilizing Composition Learning Support System

松岡 克典

Katsunori MATSUOKA

要旨 (Abstract)

学習指導要領では、「プログラミング的思考」を育むために、「論理的思考力を身につける」ことや、「論理的思考力」を磨いていくことで「プログラミング的思考」を育むための学習活動を計画的に実施することとしている。そこで、単文統合型作問支援環境「モンサクン」を活用することで、上記のような力を身に付けることができるのではないかと考えた。「モンサクン」は、算数文章題を学ぶ子供たちを対象とした学習支援アプリであり、「問題を解くのではなく、問題を作る」学習を行う。このアプリでは、子供たちは、問題がどのような要素から構成されているのかを考える必要あり、問題を作る過程において、問題のもつ「構造」を意識しなければならない。この演習を繰り返すことで子供たちは「構造」で問題をとらえることができるようになり、「構造を理解する力」を養うことが可能となる。算数文章題の問題構造の理解を深めることで、プログラミング的思考の育成に繋がると考え、取り組んだ。

キーワード：(プログラミング的思考) (論理的思考力) (学習支援アプリ)

I. 研究のねらい

学習指導要領(2017)では「プログラミング的思考」とは、「自分が意図する一連の活動を実現するために、どのような動きの組合せが必要であり、一つ一つの動きに対応した記号を、どのように組み合わせたらいいのか、記号の組合せをどのように改善していけば、より意図した活動に近づくのか、といったことを論理的に考えていく力」と述べられている。システム思考・デザイン思考コンサルティング社(2019)では、「プログラミング思考」を次の2点に要約している。

- (1) 物事を正しく分類・分析(要素に分ける)する力
- (2) 要素同士の組み合わせ(関係性)を考える力

前者が「論理的思考」、後者が「システム思考」と呼ばれており、図1のように図示化している。最上位の「プログラミング技術」は、職業プログラマーに



図1 プログラミング的思考

る人以外は当面覚える必要はないが、「論理的思考」・「システム思考」に支えられた「プログラミング的思考」は、小学生はもちろん、私たち全員が身に付ける必要があると考える。

バージニア・アンダーソン/ローレン・ジョンソン（2001）は「システム思考」を身につけることで、視野が広がり、目標を達成するためのより正しい意思決定や問題解決が可能になると説き、その理由として次の4つを挙げている。

- ・短期的な視点による対応的な行動ではなく、長期的な視点による根本的な問題解決を可能にする。
- ・1つの要素を選んでそれを分析するのではなく、全体像を捉えたうえで中心的な問題を把握しバランスのよい意思決定を可能にする。
- ・物事の一瞬だけを捉えるだけでなく、時間の経過につれて動きを見せる現象を捉えることを可能にする。
- ・始まりと終わりがあるような直線的な考え方から、物事はめぐりめぐって戻ってくるような循環的な関係にあるという考え方の理解を可能にする。

つまり、「システム思考」と、問題や事象を詳しく分析する「論理的思考」は、「プログラミング的思考」には必要不可欠なものであり、「論理的思考」・「システム思考」に基づいた「プログラミング的思考」を身に付けることが大切であると考ええる。

黒上（2017）は、図2に示すように、プログラミングと論理的思考力の関係は、論理的思考力の一部にプログラミングに必要な論理的思考力が含まれるのだと述べている。

文部科学省（2018）は、「プログラミング的思考」を育むため、小学校においては、子供がプログラミングを体験しながら、コンピュータに意図した処理を行わせるために必要な論理的思考力を身に付けるための学習活動を計画的に実施することとしている。

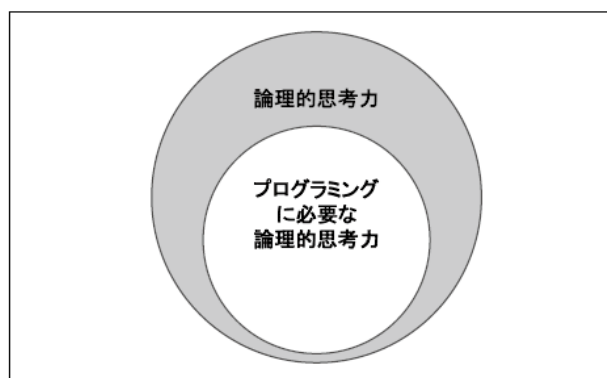


図2 プログラミングと論理的思考力

つまり、「プログラミング的思考を育むことで、論理的思考力が身につく」ということである。あるいは、「論理的思考力」を磨いていくことで「プログラミング的思考」も育むことができると読むことができる。

即ち、「プログラミング的思考」とは、「論理的思考」であり、「プログラミング的思考」ができることは、「論理的思考」ができることであると捉えることができる。

学習指導要領（2017）では、算数科におけるプログラミング教育の在り方に関して、「プログラミング的思考と算数で身に付ける論理的思考とを関係付ける活動を取り入れることも有効である」と示されている。

そして、小学校段階における論理的思考力や創造性、問題解決能力等の育成とプログラミング教育に関する有識者会議の「議論の取りまとめ」（2016）では、「プログラミングを体験することが、算数における学びの本質である数学的活動として適切に位置付けられるようにすること」および「プログラミングを体験することによる数学的活動が、算数における『深い学び』の達成に寄与すること」が述べられている。これを受けて、算数科においてプログラミング的思考を育む学習活動を行う場合には、「算数科の目標を踏まえ、数学的な思考力・判断力・表現力等を身に付ける活動の中で行う」とされている。

プログラミング教育と算数教育の関係については、「プログラミング的思考を育む学習活動を通じた算数の学習内容の本質に迫る算数教育」と「算数の学習内容を用いたプログラミング的思考を育むプログラミング教育」の2

つの立場が考えられる。これまでのプログラミングに関する研究では、テキスト型プログラミング言語による LOGO を用いた研究（杉野裕子、2014）があるが、最近では、ビジュアル型プログラミング言語による Scratch や Sphero Edu といったソフトを用いた研究（中村好則、2016）も増えている。しかし、「算数の学習内容を用いたプログラミング的思考を育むプログラミング教育」の立場からの研究が殆どである。「プログラミング的思考を育む学習活動を通じた算数の学習内容の本質に迫る算数教育」の立場から、深い学びとしての知識の関連付けによる知識の活性化を目的とした研究は少ない。2020年度からの小学校におけるプログラミング教育の導入に向けた「小学校プログラミング教育の手引き」（文部科学省、2018）が公表され、今後、プログラミング的思考を育む学習活動を位置付けた算数科授業の開発が望まれる。

そこで、本研究では、単文統合型作問支援環境「モンサクンTouch」を活用することで、作問による数学的活動を通して、プログラミング的思考だけでなく、知識の関連付けや活用を促進することを目的とする。

「モンサクンTouch」は計算問題を解くことを目的とするのではなく、文章の表す物語と数量関係を理解させる学習支援アプリであり、算数文章題の問題構造についての理解を深めるものである。

「モンサクンTouch」は、単文統合という仕組みを用いた作問学習の支援環境であり、与えられた単文のカードから3つを選択、並び替えることで作問を行うことができるため、一から問題を作るよりはるかに容易に作問が行えるようになっている。問題の成立条件を理解しないと問題が作れないようになっており、システムが診断を行うので、クラスの子供一人一人が、10分程度で20問もの問題を作り、学習できるようになっている。

加えて、「モンサクンTouch」での子供の学習記録は「モンサクンAnalyzer」で分析、グラフとして授業ごと、子供ごとに可視化されるので、子供の学習の変化を把握し、それを授業の進行・構築に役立てることもできる。なお、システムはタブレットで動くので、普段の算数の授業に取り込むことが容易となり、教師にも運用が容易なシステムとなっている。（現在は二項演算の算数文章題でも、加減算と乗算のみに対応している。）

II. 研究の内容

1. 「モンサクンTouch」について

現在、算数文章題を対象として、思考レベルでの学習が可能な学習支援システム「モンサクンTouch」が開発されている。（図3）

このシステムは学習者が本来理解すべき算数文章題の構造を定義、実装しており、この構造を分解して部品として学習者に与えている。学習者はこの部品（図3右部のカード群）を用いて課題に沿った文章題を組み立てることで、自身の習得している算数文章題についての知識を試行錯誤しながら洗練することができる。この活動により、対象となる算数文章題の解決ではなく、自身の習得した知識の利用という思考レベルの理解を促す学習を実現している。

システムは実際に特別支援学級を含めた複数の小学校への導入を実現しているものの、教育現場では学習者の理解状況の把握が必要不可欠であるため、学習者の行っている思考の可視化を実現できていない現場では、販売数自体は多いとは言えないのが現状である。

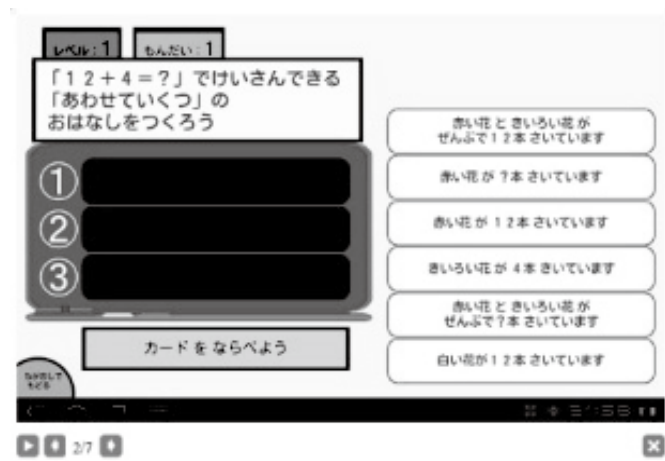


図3 モンサクンTouch

現在、広く知られているスタディサプリなどのレベルでの学習者分析は、機械学習を用いた AI により非常に高度なレベルで実現している。

しかし、このシステムはあくまで実装されている課題に対して、学習者がどの程度問題を解けるかを数理的に判断し、適切な課題の推薦を行うにとどまっている。これは現在、文部科学省で推奨されている、論理的思考力や創造性、問題解決能力等の育成や、新たに導入される大学入学共通テスト（旧センター試験）における複合的な思考力のような次世代的な学習という点から見ると、十分であるとは言えない。

黒上（2017）は、プログラミングは、フローチャート等を活用することで、論理を可視化することができることも述べている。つまり、プログラミング的思考の育成に当たっては、自分の考えの筋道を客観的に捉えさせるために、考え方を可視化できるようにすることが重要であり、教科等におけるプログラミングの考え方や手法を取り入れた学習指導の工夫が求められているのである。

「モンサクンTouch」では、算数文章題の構造の要素とその関係性を組み立てながら、その構造を試行錯誤して理解させることのできる学習支援システムを開発し、現場に提供できている。このシステムは問題を解くことを目指すのではなく、問題を解くために必要な知識を試行錯誤しながら操作・洗練できることを目的としており、対象の知識とその使い方を理解し、操ることのできる能力を育成することができる点で、先に述べた学習支援システムとは目的を大きく異なる。

そこで、開発研究者と協力し、このシステムのログをスタディサプリ等と同様に機械学習により分析し、本提案システムのモデルにより説明可能な人工知能を構築することで、思考レベルでの学習者の学習モデルを取り出すことができ、従来よりも学習者の思考に近いレベルでの学習者の学習状況の可視化や教師への提供、次に取り組む課題の推薦などを実現することが見込まれると考え、実践することにした。

現在販売されているシステムには、このようなシステムは存在していない。したがって本研究が実現できれば、学習者の様態を把握する上で、「何の課題が解ける学習者であるか」ではなく、「どのような思考ができる学習者であるか」を見える化することができるようになり、従来の教育に新たな視点を提供する可能性のある製品の提案が可能となる。

開発研究者たち（山元翔ら2013）は、これまで知識駆動型の人工知能を搭載した学習支援システム「モンサクン」（単文統合型作問、順思考加減、PC）、「モンサクンII」（逆思考、PC）を設計・開発し、学習者に対して、課題解決を中心とした学習ではなく、課題解決のために必要となる広範な知識を身につけるための学習を実現している。

これは、例えば、算数文章題であれば、問題を解くだけでなく、算数文章題がどういう条件で成立しており、どのように組み替えることができるかを理解することができる。このような、解けるだけでなく問題を作ったり変えたりすることのできる能力は、文部科学省などが推奨する、適応的な問題解決能力や、創造的な思考能力などの育成には必要不可欠なものである。

本研究では、「モンサクンTouch」のシステムの実践利用を実施し、実際の小学生を対象にシステムを用いたログデータを取得する。

これらの実績を用いれば、学習者の思考レベルでの学習成果を可視化する機能の開発が可能である。具体的には、

表1 実施体制

氏名	所属機関・部署	担当する内容
山元翔	近畿大学工学部 情報学科	開発研究代表者
平嶋宗	広島大学工学部 研究科	説明可能な人工知能の 検証と分析手法の議論
松岡克典	奈良学園大学	提案システムの検証と 実践利用

これまでのログデータを用いて機械学習により学習者の思考パターンを分類する。そして上記のシステムに実装している算数文章題の構造と照らし合わせることで、作問における学習者の思考を説明可能な人工知能を構築する。この人工知能を教師が用いるような学習状況の把握システムに実装することで、学習者の学習の様子から、学習者の様態を思考レベルで解説、リアルタイムで提示することができる。これにより、従来できていなかった教師の指導用のための学習者の思考レベルの把握システムや、その結果を用いた課題推薦システムのプロトタイプを開発し、最終的には製品版として提供することができる。

「モンサクンTouch」での演習は、与えられた部品（単文カード）を用いて、与えられた制約（数式と物語）を満たす問題を作成することを求められる。よって、一つ一つの部品やその組み合わせにより表現される物語を考えなければならない、その試行錯誤により、部品とその組立による構造を理解しなければならない。

すなわち、学習者は与えられた制約に沿った問題を実現するために、与えられた単文カードをどのように組み立てるか、そしてその組立の結果どのような問題が作成されるのか試行錯誤して学習する必要があるという点で、プログラミング的思考を促進していると言える。

「モンサクンTouch」は、算数文章題を学ぶ子供たちを対象とした学習支援アプリであり、「問題を解くのではなく、問題を作る」学習を行う。子供たちは、問題がどのような要素から構成されているのかを考える必要あり、問題を作る過程において問題のもつ「構造」を意識しなければならない。この演習を繰り返すことで子供たちは「構造」で問題をとらえることができるようになり、「構造を理解する力」を養うことが可能となる。

2. 実践概要

本来、「モンサクンTouch」は、Android のアプリであるが、近畿大学附属小学校は iPad を使用しているため、開発研究者に依頼し、iOS でも動作できるように作成した。

近畿大学附属小学校第6学年4クラス（114名）を対象に「モンサクンTouch」を使用し、その結果分析から、2学期からは全学年で使用することにする。

そして、学習者用インターフェイス「モンサクンTouch」をタブレット上で実現し、作問課題の決定及び作成された問題の診断を行う。

演習結果は、リアルタイムでデータベースサーバーに蓄積され、教師は可視化ツール「モンサクンAnalyzer」を用いることで学習者の作問状況をモニタリングすることができる。

①子供用システム：モンサクンTouchの特徴

- ・子供に合わせたレベル設定
- ・教科書から抜き出した問題
- ・タブレットなので教室で利用

②教師用システム：モンサクンAnalyzer の特徴

- ・授業ごとの成績の推移を確認
- ・子供の成績を確認
- ・リアルタイムで演習結果を把握

「モンサクンAnalyzer」は、教授者が学習者の学習結果をモニタリングするためのシステムであり、「モンサクンTouch」を用いた授業で使用する。本システムでは学習者の正誤数、誤りの種類別の割合などをクラス全体、または学習者ごとにリアルタイムで提示されるため、これらのデータに基づいた、学習者の学習状況の形成的評価が

可能となっている。

「モンサクンAnalyzer」のメイン・インタフェース画面（図4）では、クラスを選択後、そのクラスにおける成績が日付順に表示されるため、教授者は日ごとの成績の推移を把握でき、授業の設計に利用できる。そして、「生徒別に見る」を選択すると、生徒ごとの成績が表示され、教授者はあまり進んでいない学習者に対しての個別の指導を行うことができる。

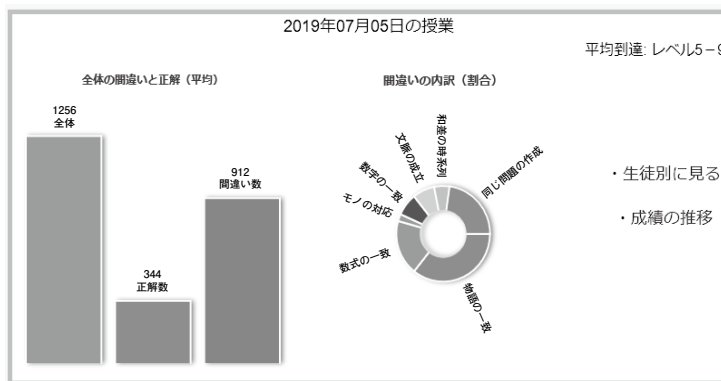


図4 メイン・インタフェース

また、「学習者のログ」を選択すると、学習者が実際に作った問題を見ることができる。

3. 実践報告

1) 加減算文章題について

「モンサクンTouch」において、学習者は作成する問題の条件として「数式」と「物語の種類」、部品として複数の単文（オブジェクト、数量、述語からなる文章）カードが与えられ、そのカードの中から3つを選択し、並べることで条件にあった問題を作成する。

これまで「モンサクンTouch」の操作ログから、学習者が選択したカードやその順番から作問プロセスの分析が行われている。（林雄介ら2014）

本研究では、可視化ツール「モンサクンAnalyzer」を用いることで学習者の作問状況をモニタリングすることにした。

第6学年の子供にとって、このような問題は簡単である。間違う子も少ない結果であった。

しかし、ダミーカードに惑わされて、ひき算の場面ではたし算のように正答率が高くないのが分かった。

たし算やひき算は、③の答えから紐解いて、問題を作成すればよいことが子供のつぶやきからでてきた。

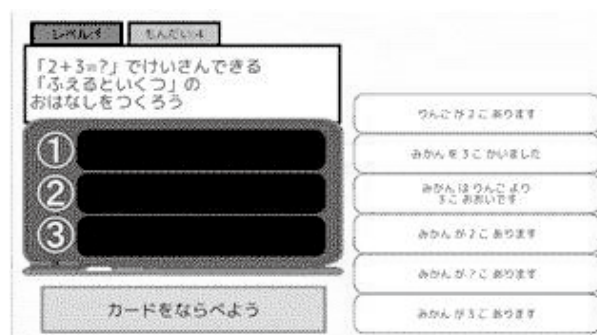


図5 たし算の問題

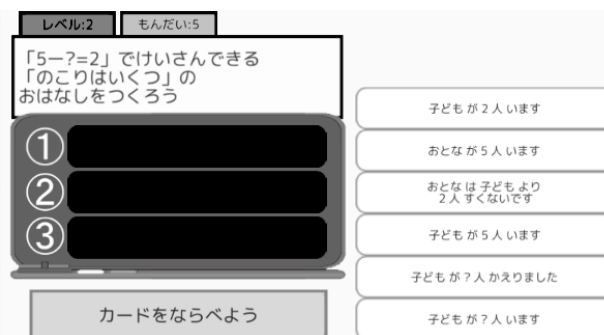


図6 ひき算の問題

「モンサクンTouch」では、対象としていた加減で解ける算数の文章題は、その問題中に表されている事象の演算構造と、答えを求めるための計算の構造が一致する場合と一致しない場合がある。前者が順思考型であり、後者が逆思考型と呼ばれる。例えば、「リンゴが5個ありました。3個食べたら、残り2個になりました。」という物語を前提とすると、最初のリンゴの数を答えとする問題に存在する数量関係は、「 $? - 3 = 2$ 」であり、答えを求め

る計算は“ $3 + 2 = ? (= 5)$ ”となる。

本稿では、この前者を関係式と呼び、後者を計算式と呼ぶ。順思考型の問題ではこの関係式と計算式が一致する（例えば、前述問題で残りのリンゴの数が未知数の場合）ため、問題文さえ適切に把握できれば問題が解けるのに対して、逆思考問題では数量構造の変形を必要とするため、順思考問題を解けることは、必ずしも逆思考問題を解けることを意味しておらず、算数の能力形成において極めて重要な課題とされている。

逆思考問題の場合、計算式と関係式の関係も意識しなければ適切な問題を作ることは難しく、問題文の構造を抽象化させて理解する必要がある意義の高い学習になっているといえることができる。

そこで、逆思考型の問題に取り組ませたところ、予想通り正答率が激減した。

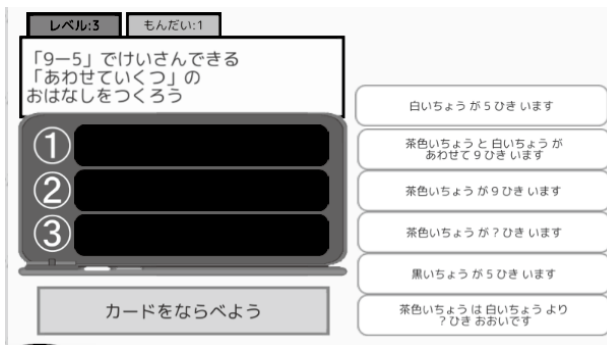


図7 逆思考型の問題 レベル3-1

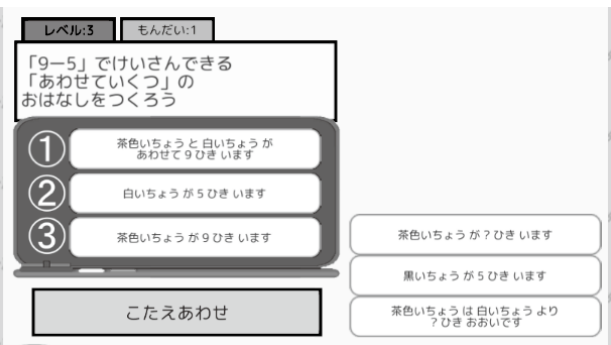


図8 ある子供の解答

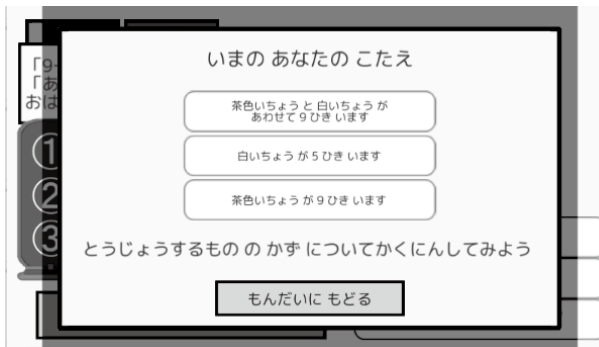


図9 間違った箇所を指摘している



図10 正解の例

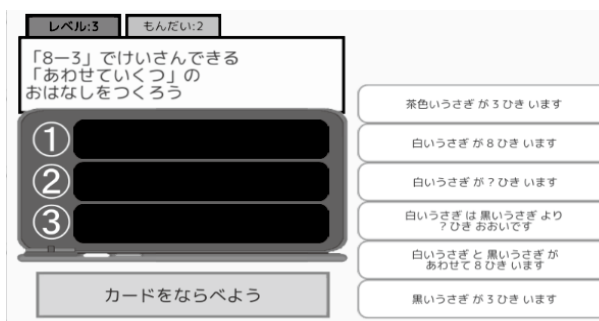


図11 逆思考型の問題 レベル3-2

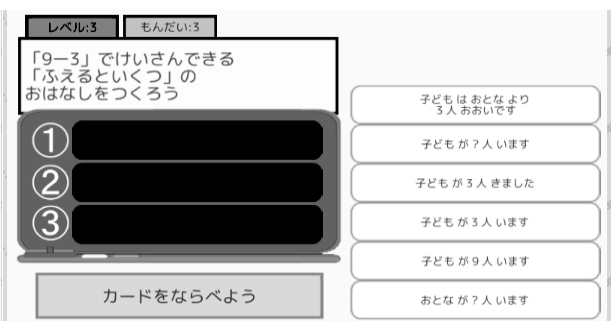


図12 逆思考型の問題 レベル3-3

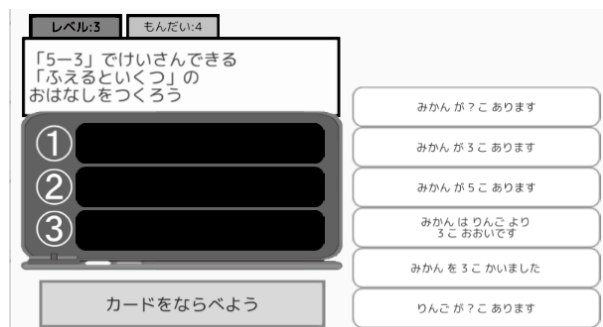


図13 逆思考型の問題 レベル3-4

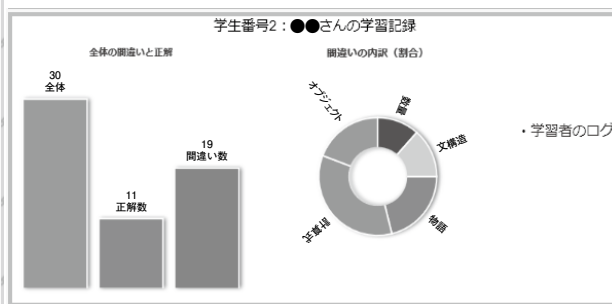


図14 「モンサクンAnalyzer」の学習記録

図15の子供のログから、どのような間違いをしているのか、正解にたどり着くまでにどの位時間を要したのかを分析することが可能である。

分析結果は、「物語」「計算式」「オブジェクト」「数量」「文構造」に分類し、それぞれが正解かどうか分かるようになっている。

レベル3-1の問題は、「9-5」でけいさんできる「あわせていくつ」のおはなしをつくろうである。ここでは、逆思考で、 $? + 5 = 9$ という関係式を導き出さなければならぬ。

例えば、最初の解答 (22:36:18) では、式に表すと $5 + ? = 9$ となり、「計算式」が×となり、「あわせていくつ」という題意には合わないため、「物語」も×となっている。また、関係式としては成立するため、「オブジェクト」「数量」「文構造」は正解となっている。

この様に、「モンサクンAnalyzer」を用いることで学習者の作問状況をモニタリングすることができる。

ある子供の結果では、レベル3-1では、正解にたどり着くまでに4回間違っていたのが (図15)、3-2では3回間違いとなり (図16)、3-3では1回間違いで、3-4では間違いなく正答できた (図17)。

3	1	「? $+5=9$ 」でけいさんできる「あわせていくつ」のおはなしをつくろう	茶色いちょうと白いちょうがあわせて9ひきいます 白いちょうが6ひきいます 茶色いちょうが?ひきいます	物語正解 計算式正解 オブジェクト正解 数量正解 文構造正解	2019-07-04 22:38:56
3	1	「? $+5=9$ 」でけいさんできる「あわせていくつ」のおはなしをつくろう	茶色いちょうが?ひきいます 白いちょうが6ひきいます 茶色いちょうが9ひきいます	×(物語) ×(計算式) ×(オブジェクト) 数量正解 ×(文構造)	2019-07-04 22:38:44
3	1	「? $+5=9$ 」でけいさんできる「あわせていくつ」のおはなしをつくろう	茶色いちょうが?ひきいます 白いちょうが6ひきいます 茶色いちょうは白いちょうより?ひきおおいです	×(物語) ×(計算式) オブジェクト正解 ×(数量) 文構造正解	2019-07-04 22:38:41
3	1	「? $+5=9$ 」でけいさんできる「あわせていくつ」のおはなしをつくろう	茶色いちょうと白いちょうがあわせて9ひきいます 白いちょうが6ひきいます 茶色いちょうは白いちょうより?ひきおおいです	×(物語) ×(計算式) ×(オブジェクト) 数量正解 ×(文構造)	2019-07-04 22:38:35
3	1	「? $+5=9$ 」でけいさんできる「あわせていくつ」のおはなしをつくろう	茶色いちょうが9ひきいます 白いちょうが6ひきいます 茶色いちょうは白いちょうより?ひきおおいです	×(物語) ×(計算式) オブジェクト正解 数量正解 文構造正解	2019-07-04 22:38:18

図15 レベル3-1のログ

後日、対象の子供に、どのように考えたのか尋ねてみた。最初 (3-1) は意味が分からず、キーワードとなる9と5の数字を使った題意に合うものを選んだ。次に、9-5なので、答えの4が?に当たると考えて、 $9-5=4$ (?) の式になるようなものを探した。そして、「あわせていくつ」ということからたし算になると思い、 4 (?) $+ 5 = 9$ になるように考えた。さらに、「あわせて」というキーワードに気がつき、題意に合うカードを選んだ。と答えた。

では、次の問題 (3-2) は、どのように考えたか聞いてみた。最初、8と3の数字があるカードで、 $8-3$ になるものを選んだ。間違ったので、さっきの問題と同じパターンだと考えて、「あわせて」の言葉がある「白いうさぎと黒いうさぎがあわせて8ひきいます」のカードを先に③ (図11左側) に入れた。後は、 $? + 3 = 8$ の式から、?

に当てはまるものと、3に当てはまるカードを選んだ。間違っただのは、色をよく見てなかったからです。」と答えた。

そして、3-3の問題(図12)についても尋ねてみた。前の2問の経験から、 $9-3=?$ の式をたし算の式? $+3=9$ と考えて、カードを選んだ。しかし、間違っただのは、「ふえるといくつ」を見落としていたので、訂正した。と解説した。

さらに、3-4の問題(図13)についても尋ねてみた。前の問題と同じパターンなので、 $5-3=?$ の式を? $+3=5$ にして、「ふえるといくつ」に注意したら簡単に分かった。」と答えた。

このことから、この子供は、ひき算の式を逆思考でたし算の関係式に変換させることができた。つまり、結論から逆算する方法を身に付けることができたといえよう。この考えは、プログラミング的思考であり、思考整理のために、論理的に考えるという手段を使って解決している形態である。

これは、学習指導要領の「プログラミング的思考」(自分が意図する一連の活動を実現するために、どのような動きの組合せが必要であり、一つ一つの動きに対応した記号を、どのように組み合わせたらいいのか、記号の組合せをどのように改善していけば、より意図した活動に近づくのか、といったことを論理的に考えていく力)を育むことに繋がっているといえよう。

そして、文章題の解決をする際に、“あわせて”だからたし算、“捨てました”だからひき算、というように解決を単なるキーワードで行うような子供に対して「モンサクンTouch」を使った演習を行うことは特に有効であった。こういった子供はこの演習を行うことで、問題はどのような要素で構成されているのかを考えなければならない、また、逆思考問題の作成にも取り組むことになるために、問題のもつ構造というものを意識しなければならないことに気付くことができたのである。

この演習を繰り返すことで子供はキーワードではなく、構造で問題をとらえることができるようになり、それが論理的思考力も向上に繋がった。

3 2	「? $+3=8$ 」でいさんできる「あわせていくつ」のおはなしをつくらう	黒いうさぎが3ひきいます	物語正解 計算式正解 オブジェ 2019-07-04 クド正解22:39:37 数値正解 文構造正解
		白いうさぎが7ひきいます	
		白いうさぎと黒いうさぎがあわせて8ひきいます	
3 2	「? $+3=8$ 」でいさんできる「あわせていくつ」のおはなしをつくらう	茶色いうさぎが3ひきいます	物語正解 ×(計算式) ×(オブジェ) 2019-07-04 22:39:31 数値正解 文構造正解
		白いうさぎが7ひきいます	
		白いうさぎと黒いうさぎがあわせて8ひきいます	
3 2	「? $+3=8$ 」でいさんできる「あわせていくつ」のおはなしをつくらう	茶色いうさぎが3ひきいます	物語正解 ×(計算式) ×(オブジェ) 2019-07-04 22:39:29 数値正解 文構造正解
		白いうさぎが7ひきいます	
		白いうさぎと黒いうさぎがあわせて8ひきいます	
3 2	「? $+3=8$ 」でいさんできる「あわせていくつ」のおはなしをつくらう	白いうさぎが8ひきいます	×(物語) ×(計算式) オブジェ 2019-07-04 クド正解22:39:08 数値正解 文構造正解
		黒いうさぎが9ひきいます	
		白いうさぎは黒いうさぎより?ひきおおいです	

図16 レベル3-2のログ

3 4	「? $+3=5$ 」でいさんできる「ふえるといくつ」のおはなしをつくらう	みかんが?こあります	物語正解 計算式正解 オブジェ 2019-07-04 クド正解22:40:26 数値正解 文構造正解
		みかんを3こかいました	
		みかんが5こあります	
3 3	「? $+3=9$ 」でいさんできる「ふえるといくつ」のおはなしをつくらう	子どもが?人います	物語正解 計算式正解 オブジェ 2019-07-04 クド正解22:40:02 数値正解 文構造正解
		子どもが9人きました	
		子どもが9人います	
3 5	「? $+3=9$ 」でいさんできる「ふえるといくつ」のおはなしをつくらう	子どもが9人います	×(物語) ×(計算式) オブジェ 2019-07-04 クド正解22:39:49 数値正解 文構造正解
		おとなが?人います	
		子どもはおとなより3人おおいです	
3 2	「? $+3=8$ 」でいさんできる「あわせていくつ」のおはなしをつくらう	黒いうさぎが3ひきいます	物語正解 計算式正解 オブジェ 2019-07-04 クド正解22:39:37 数値正解 文構造正解
		白いうさぎが7ひきいます	
		白いうさぎと黒いうさぎがあわせて8ひきいます	

図17 レベル3-2から3-4のログ

2) 乗除算文章題について

乗除算の文章題は、1つ分の数のことを指す基準量、それがいくつ分あるかを表した割合、全部の数を表す比較量からなり、この3文の構成から成り立つと考えられる。そして、乗除算文章題は、文の順序によって、(i) 比較量、基準量、割合の順からなる第1用法物語、割合を求める計算「 $\text{比較量} \div \text{基準量} = \text{割合}$ 」(ii) 基準量、割合、比較量の順からなる第2用法物語、比較量を求める計算「 $\text{基準量} \times \text{割合} = \text{比較量}$ 」(iii) 比較量、割合、基準量の順からなる第3用法物語、基準量を求める計算「 $\text{比較量} \div \text{割合} = \text{基準量}$ 」の3つの物語が定義できる。

現在、乗除算の「モンサクンTouch」では、基準量、割合、比較量の関係を学習者に意識させるために、第2用法物語、つまり基準量、割合、比較量の順にカードを並べるように指定している。

「モンサクンTouch」の乗除算における診断フローを図18に示す。システムはまず、文構成が成り立っているか、つまり3文が関係文、存在文、存在文の順番で並んでいるかどうかを診断し、成り立っていない場合は、文構成の誤りまたは基準量、割合、比較量の関係を捉えられていない役割の誤りとする。

次に、物語が成り立っているかどうかを診断し、成り立っていない場合は、オブジェクトの関係が誤っているオブジェクトの誤り、単位の関係が誤っている単位の誤り、数量関係が誤っている数量の誤り、1つ分の数がどこに1つ分の数が確定していない文を当てはめてしまう1つ分の数の誤り、関係文の対応が理解できていない関係文の対応付けの誤りとなる。

最後に、作った問題が課題と一致しているかどうかの診断を行い、一致していなければ、問題式・求答式の誤りとなる。「モンサクンAnalyzer」上で表示する誤りの割合は、これらの誤りに従って提示する。

乗除算では、「モンサクンAnalyzer」にシステムの拡張を行った。

まず、乗除算の誤りの分類に応じた誤りの種類の提示である。これによって、乗除算の「モンサクンTouch」においても教授者は学習者がどのような誤りをしたのかが把握できることになる。

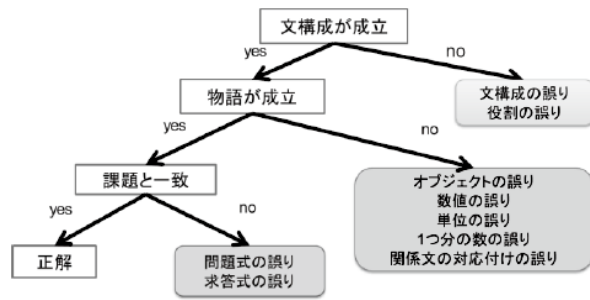


図18 乗除算の診断フロー



図19 乗除の問題

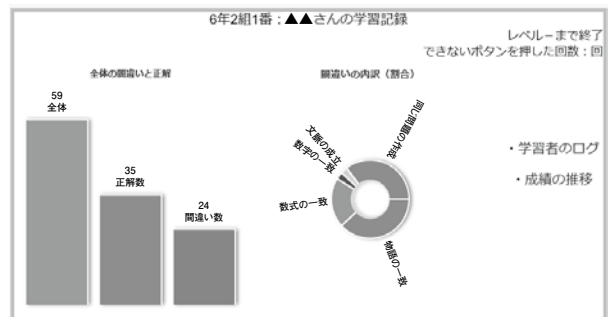


図20 学習記録

次に、レベル別に学習結果を表示するフィルタリング機能の実装である。これによって、教授者が学習者の学習結果に応じて、あるレベルについての理解が不十分であるから次回の授業でもう一度同じレベルを扱うといったように、次回の授業構築の参考にすることが可能となる。課題別のフィルタリングも設けているが、これも同様に、教授者が前回までの学習者の理解状況に応じた授業構築を行うことが可能となる。

最後に、課題ごとの正誤数の推移のグラフ表示である。これによって、教授者は学習者が苦手としている課題を把握することができるため、そこに焦点をしばった授業設計が可能となる。

作問時に与えるカードセットは正解に必要なカードだけでなく、不要なダミーカードを含んでいる。ダミーカードは学習者が誤った考え方をした際に必要となるカードで、正解のカードからオブジェクト、数量、述語のいずれかを変更したものである。ダミーカードはその課題で学習者に考えさせたいことに応じて適宜設定しているため、種類・枚数は各課題で異なる。ダミーカードが存在することで、試行錯誤的にカードを当てはめたり、課題の条件として与えられた式の数値順にその数値を持つカードを当てはめたりすることで正解してしまうといった確率を下げると共に、学習者は正解に必要なカード・不要なカードの取捨選択を行う上で、より深い思考が必要とされるので更なる学習効果が期待できると考えられる。

加減算同様に、乗除算でも「問題作成する」過程を経ることで、(i) 提案された様々な構成要素から必要なものだけを取捨選択する、(ii) 不足している構成要素の存在に気付く、(iii) 一連の物語として正しく把握する、といった見方・考え方が身に付く。この「問題を作成する」という過程があるので、構成要素を考える過程で多様な考えが出てきても、目的を達成するために必要な構成要素に必ず絞り込むことができる。

「モンサクンTouch」を活用することで、目的に合わせて取捨選択したり、カスタマイズしたりできる力を身につけることができると考える。

5	10	「牛にゆうが4本あります」というカードを使ってかけ算のお話を2つ作ろう	男の子1人あたり 牛にゆうを2本配ります 男の子は2人います 牛にゆうは4本あります	正解	2019-07-05 09:54:03
5	10	「牛にゆうが4本あります」というカードを使ってかけ算のお話を2つ作ろう	牛にゆう1本につき 5dずつ入っています 牛にゆうは4本あります 牛にゆうは 20dあります	x (問題式)	2019-07-05 09:53:56
5	9	「花たばが8つあります」というカードを使ってかけ算のお話を2つ作ろう	大人1人あたり 花たばを2つ配ります 大人が4人います 花たばが8つあります	正解	2019-07-05 09:53:47
5	9	「花たばが8つあります」というカードを使ってかけ算のお話を2つ作ろう	花たば1つにバラが3本ずつ入っています 花たばが8つあります バラは24本あります	x (問題式)	2019-07-05 09:53:36
5	9	「花たばが8つあります」というカードを使ってかけ算のお話を2つ作ろう	大人1人あたり 花たばを2つ配ります 花たば1つにバラが3本ずつ入っています 花たばが8つあります	x (問題式)	2019-07-05 09:53:24

図21 乗除算のログ

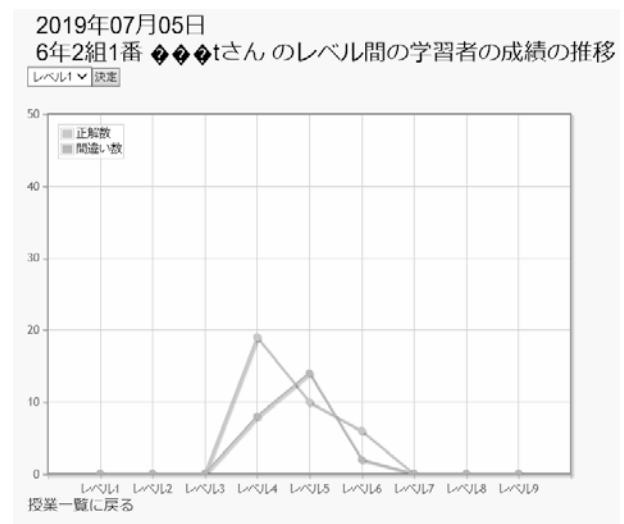


図22 成績の推移のグラフ

Ⅲ. まとめ

「モンサクンTouch」はタブレット上で学習できるものであり、子供自身が問題を作りながら学べるので、学習意欲を育むと共に、システムが誤りを理由と共に指摘するので、子供自身が活動を振り返り、自己評価することで、主体的な学習も促すことができる。そして、演習としては、演算の構造（全体と部分の関係や演算の意味）を理解することができ、数学的見方・考え方のポイントである条件の関係性を身につけることが可能である。そして、各部品（カード）の性質を捉え、試行錯誤しながら目的の問題を作り出すことで、プログラミング的思考力も伸ばされるようになった。「モンサクンTouch」を活用することで、子供が意欲的・主体的に学習ができ、様々な力を伸ばすことができる成果が表れた。

さらに、ICTとAIを活用することで、作問課題の提供や子供の回答の採点といった負荷は自動化されるため、授業の効率化を図ることができた。子供が一人一台のタブレットを利用することで、一人一人の学習の進み具合に応じた個別の支援が可能となり、教師の指導を支援することにも繋がった。

今回の実践から、「プログラミング的思考」とは、目的やゴールから逆算し、物事を順序立てて考え、結論を導き出し、実行する力だと捉えることができる。

そして、「論理的思考」は、目的を達成するために手順を考えたり、どうしたらできるかを考えたりすることで、「論理的思考」の中に「プログラミング的思考」が内包されているということや、「プログラミング的思考」は、目的を達成する手段の中で、最適な解を考えることであることが分かった。

今後は、学校現場へ導入するための教師用の学習者の思考レベル可視化支援機能のプロトタイプを開発し、製品として提供することを目指す。

引用・参考文献 (References)

- 1) 小学校学習指導要領解説 算数編、文部科学省、2017
- 2) 島青志『システム思考の実践』システム思考・デザイン思考コンサルティング、2019
- 3) 黒上晴夫、堀田龍也「プログラミング教育導入の前に知っておきたい思考のアイデア」、小学館、p.6 2017
- 4) アンダーソン・バージニア、ジョンソン・ローレン、伊藤武志（訳）『システム・シンキングー問題解決と意思決定を図解で行う論理的思考技術』、日本能率協会マネジメントセンター、2001
- 5) 小学校段階における論理的思考力や創造性、問題解決能力等の育成とプログラミング教育に関する有識者会議、「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）」、2016、www.mext.go.jp/b_menu/shingi/chousa/shotou/122/attach/1372525.htm.
- 6) 杉野裕子「プログラミング活用環境下の授業における活動が、図形概念の認識過程に与える影響－ LOGO コンテンツ開発と授業実践を通して－」、『数学教育学論究』、日本数学教育学会、第96巻、臨時増刊、pp.89－96、2014.
- 7) 中村好則「算数科におけるプログラミング的思考と数学的な見方・考え方の育成に関する考察－ Sphero SPRK Edition を活用した「速さ」の指導事例を通して－」、『日本科学教育学会研究会研究報告』、日本科学教育学会、Vol.31、No.3、pp.9－12、2016.
- 8) 小学校プログラミング教育の手引き（第二版）、pp.11-13、文部科学省、2018
- 9) 山元翔、神戸健寛、吉田祐太、前田一誠、平嶋宗「教室授業との融合を目的とした単文統合型作問学習支援システムモンサクンTouch の開発と実践利用」、電子情報通信学会論文誌D、Vol. J96-D、No.10、pp.2440-2451

(2013)

- 10) 林雄介、ヌルハサナ、前田一誠、平嶋宗「算数文章題の単文統合型作問演習におけるログデータからの思考の変化の分析~第1選択単文の観点から」、教育システム情報学会JSiSE2014、TF1-3、pp.303-304 (2014.09.10-12)
- 11) 赤尾優希、林雄介、平嶋宗『作問課題変更演習の設計・開発とその評価－作問プロセスの自己説明活動として－』人工知能学会論文誌31巻5号D、2016
- 12) 山元翔、赤尾優希、室津光貴、前田一誠、林雄介、平嶋宗「算数文章題の構造的理解を指向した作問学習支援システムの乗除算への拡張とその実践利用」電子情報通信学会論文誌 D Vol.J100-D No.1 pp.60-69 (2017)