

Computational Thinking の外在化とプロセスエビデンス

Externalization of Computational Thinking and Process Evidence

平嶋 宗^{*1}

Tsukasa Hirashima

^{*1} 広島大学

Hiroshima University

Abstract: Recently, computational thinking has been paid special attention as an important and fundamental skill for all children. Therefore the way to promote a learner to experience and master computational thinking is becoming an important topic in technology enhanced learning. In this paper, a framework for formalization of computational thinking for a usual learning object as externalized operation for information structure is proposed. As an example, an externalized task of arithmetic word problems is introduced.

1. はじめに

人が身につけるべき基本的な能力の一つとして、“Computational Thinking”あるいは“プログラミング的思考”が着目されている。これらの名称には、「Computational」あるいは「プログラミング」という名称が含まれているが、計算やコーディングそのものことではなく、対象を分析・整理し、解くための計算やプログラムを組み立てる事ができるようにするまでの思考を指すものであるとされており、「問題を定式化する」あるいは「問題をモデル化する」といった言葉で置き換えることも可能である。つまり、「問題を解く」のではなく、「解けるような問題に変換する」ことであると捉えることができる。

このように考えると、Computational Thinking やプログラミング的思考(以下両者を合わせて単に CT と呼ぶことにする)を学習者に経験させ、習得させるために、プログラミングを行わせることは必須ではなく、既存の学習課題においても存在する問題の定式化・問題のモデル化の部分をも明示化、目的化すればよいとも考えられる。さらにいえば、CT を学習者が基本的な能力として習得することを目指すのであれば、普段から接している既存の学習課題においてその思考を働かせることを推奨するべきであるといえる。従来の学習課題における CT を見過ごした上で、プログラミングとしてのみこれらの思考法を教えることは、プログラミング特有の特殊な思考法であるとのメッセージになりかねず、学習においては負の影響を与えかねないといえる。

問題を情報記述であると捉え、その情報記述を既知の解法が適用可能な記述にまで変換するまでの思考を CT であると捉えれば、一般的に学習課題の多くにそのような過程が含まれており、また、従来の教育においては必ずしも明示的に教える対象になっていなかった部分であるといえることができる。また、知的学習支援に関する研究における重要な支援対象であった「問題の定式化」は、まさしくこの過程に相当する。このような観点においては、知的学習支援において研究されてきた問題の定式化過程のモデル化とそれに対する支援に関する知見を元に、既存の学習課題に対する CT のモデル化と支援を試みることは、有望なアプローチとなる。

本稿では、既存学習課題に対する CT を明示的に促進する一つの試みとして、算数・数学の文章題を対象とした試みを紹介する。算数・数学の文章題では、問題は自然言語によって与

えられ、答えは計算によって求められる。したがって、計算が適用できるように問題を定式化することが必要な問題であるといえる。これまでの算数・数学の文章題の問題解決に関する研究においても、(1)問題を理解する問題理解過程、(2)答えを求める問題解決過程、の二つの異なる過程が存在すると考えることが妥当であるとされている。この二つの過程のうち、問題理解過程が、CT に相当する。ここでの理解は、「すでに知っている計算の仕方が使えるように問題を整理したこと」となる。

本研究では、この CT を具体的に外在的な作業として学習者が行えるようにすることを目指している。学習者が CT を具体的に外在的な作業として行う活動を通して、その作業を内在的なものとするのを、CT の能力獲得の支援として位置づけている。ここでは、CT のプロセスを外在化することができれば、そのプロセスに関する情報を取得することができるようになる。したがって、CT の支援や評価をプロセスデータに基づいて行うことができるようになる。つまり、CT が適切に遂行されたかどうかを生産物だけでなく、プロセスを証拠として説明することが可能となる。これをプロセスエビデンスと呼び、プロセスエビデンスに基づく CT の評価の可能性についても本稿で論じる。

2. Computational Thinking (CT)

バパートは、対象を理解する上で、対象の「表現」の重要性を強調し、対象を適切で操作可能(操作過程と操作結果の妥当性も含む)な表現に変換することが理解であると指摘している [Papert 1980, 1996]。この表現とその表現に対する操作可能性が、Computational であると考えることができ、適切な表現に変換することを CT であると見なすことができる。また、ウイングは、ill-defined な問題を well-defined な問題に変換する過程における思考として CT を説明している [Wing 2006]。

CT が子供たちにとっても学ぶべきスキルであるとの主張は、ウイングを始め、多くの研究者が行っており、Google は “Computational Thinking for Educators” というオンラインコースを開発し、教材等の提供を行っている [Google 2016]。また、小学校低学年や就学前の児童を対象とした CT 教材の開発も行われている。しかしながら、これらは、CT のために用意された教材になっており、従来から用いられている学習課題を取り扱った CT は見受けられない。本研究は、従来の学習課題の CT 課題化を目指したものとなる。

CT は、さらに幾つかの思考に分解できるとする見解が多く示されており、標準的に言われているサブ思考としては、(1)分解、(2)パターン化、(3)抽象化、(4)手順化、の4つがあげられる。

学習課題の CT 課題化においては、これらの4つの全部もしくは一部を具体的な作業として行える課題にすることが必要となる。次章では、算数の文章題の CT 課題化を試みる。

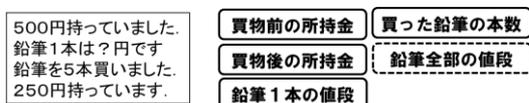
3. 算数文章題の CT 課題化

算数や数学の文章題は、自然言語表現で与えられた問題を、計算可能である数式表現に変換することで解決する課題である。数式表現から自然言語表現までを逆向きのプロセスで考えると、数式表現が得られるためには、その数式表現を構成する「数」と「数間の演算関係」への変換元を考える必要がある。自然言語表現において「数」が意味を持つためには、その「単位」が与えられている必要がある。「単位を持つ数」は一般的には「量」であり、この量は、「値として数を持つ概念」として表現される。たとえば、「りんごの数」や「りんご1個の値段」が例となる。この「値として数を持つ概念」を「量概念」と呼ぶことにする。このように考えると、「数間の演算関係」は、「量概念間の演算関係」として表現されることになる。算数の範囲で扱う演算関係は、四則演算であるとする、この量間の演算関係は、三つの量概念の組において存在する一つの演算関係として構成されることになる。たとえば、「りんごの数」と「りんご1個の値段」と「りんご全部の値段」の3つの量概念で、一つの演算関係「りんごの数」×「りんご1個の値段」=「りんご全部の値段」が構成されることになる。

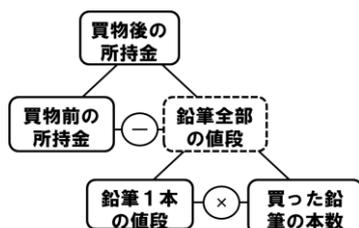
このように考えると、自然言語表現から数式表現を求めるためには、自然言語表現から「量概念」を抽出すること、演算関係を持つ量概念の三組を見つけることが必要となる[Hirashima 2014]。また、演算関係を持つ量概念の三つ組は、知識として知っていることが必要であり、この知識が適用できるような量概念の抽出が求められることになる。ここで、CT のサブ思考を対応付けてみると、まず一連の自然言語表現を量概念に分解しているとみることができる。さらに、得られた量概念の三つ組を構成することは、パターン化に相当するといえる。また、その量概念を知識としての量概念の演算関係と対応付けるためには、抽象化が必要となる。

また、問題中に含まれている量概念間の演算関係が取り出されたとしても、直ちに行うべき演算が決定させるわけではなく、その演算関係上においてどの手順で計算を行っていくかは別途決めるべきこととなる。

図1-2にここで述べた文章題表現の数式表現への変換の事例を示した。図1は問題文と問題文から取り出される量概念である。破線の量概念は、問題文中に直接現れない量概念である。図3は量概念から組み立てることのできる演算関係である。問題に対する答えとなる鉛筆1本の値段を求めるためには、こ



の演算関係に基づいて計算を組み立てる必要があり、演算関



係自体はあくまで関係であり、手順ではないといえる。

図1 問題と量概念の例
図2 量概念間の演算関係の例

問題文中に含まれる量概念から、図2に示されるような演算関係(三角ブロック表現と呼ぶ[Hirashima 2015])を情報構造として用意し、それを学習者に組み立てさせ、さらに計算手順を決めて計算まで行う学習環境をすでに開発し、実践的な利用まで行っている[Hirashima 2016]。このように、情報構造を学習者に操作可能にして提供することを情報構造オープンアプローチと呼んでいる。この組立課題は、CT の過程に対応付けることが可能であるとともに、その過程を外在化したものになっているといえる。CT 課題としての位置づけとその効果の分析については、更に研究を進めていくことが必要である。

4. プロセスベースの分析

学習を思考の結果と考え、より良い思考がより良い学習につながると考えると、学習者がどのような思考を行ったのかを知り、学習者の思考をより学習に貢献するものへとガイドすることが学習支援の一つの有力がありかたであるといえる。従来は、思考の結果としての産物に基づいて思考を推定していたといえるが、学習者の3章で述べたように CT 課題の外在的な遂行を可能にすることで、その遂行過程に関するデータを収集することができる。このデータを思考プロセスのデータ・エビデンスと見なすことで、学習者の思考過程についてのより直接的な分析と支援が可能となる。このようなプロセスデータの収集を可能にするためには、学習課題の情報構造化、及びその情報構造の具体的な操作としての思考のモデル化、と手順が有望なアプローチであるといえる。本稿で紹介した例は、成功事例の一つとなる可能性を持っていると考えている。

5. まとめ

本稿では、通常の学習課題の CT 課題化の試みについて述べた。この試みにおいては、対象の情報構造を外在化し、その操作を外在的に行うこととして、課題化している。本稿では、算数の文章題に対する試みを事例として紹介したが、その CT としてのプロセスの分析や効果の検証、あるいは他の課題への拡張は今後の課題となる。

参考文献

[Papert 1980] Papert, S. (1980), *Mindstorms: Children, Computers, and Powerful Ideas*, Basic Books.
 [Papert 1996] Papert, S. (1996), *An Exploration in the Space of Mathematics Educations*, *International Journal of Computers for Mathematical Learning*, Vol. 1, No. 1, pp. 95-123.
 [Wing 2006] Wing, J. (2006), *Computational Thinking*, *Communications of the ACM*, Vol. 49(3):33-35
 [Google 2016] Google's Exploring Computational Thinking website (www.google.com/edu/computational-thinking)
 [Hirashima 2014] Hirashima, T., Hayashi, Y., Yamamoto, S., (2014). Triplet Structure, Model of Arithmetical Word Problems for Learning by Problem-Posing, *Proc. of HCII2014(LNCS 8522)*, pp.42-50.
 [Hirashima 2015] Hirashima, T., Hayashi, Y., Yamamoto, S., Maeda, K.(2015). Bridging Model between Problem and Solution Representations in Arithmetic/Mathematics Word Problem, *Proc. of ICCE2015*, pp. 9-18.
 [Hirashima 2016] Hirashima, T., Hayashi, Y.(2016). Scaffolding of Thinking about Structure with Kit-Building Task, *Workshop Proc. of ICCE2016*, pp. 379-382.