

学習課題の情報構造としての再定義とその内容に基づいて設計された活動としての組み立てることによる学習

Redefinition of Learning Objects as Information Structure and Learning by Construction as Activity Designed based on the Definition

平嶋 宗

Tsukasa Hirashima

広島大学大学院工学研究科情報工学専攻学習工学研究室

Learning-Engineering Laboratory, Information Engineering, Hiroshima University

In this paper, both redefinition of learning objects as information structure and design of learning by construction of the structure are introduced as a promising approach to realize an advance learning environment based on information technology. As a theoretical background of this learning, Galperin's theory of the stepwise formation of mental actions is reported. I also describe a series of investigations of arithmetical word problems as an example of this approach.

1. はじめに

「思考」を「情報に対する行為」と捉えることは、人工知能や認知科学の基本的な作業仮説の一つである。対象が「情報」であれば、それ自体、およびその変化を記述することが可能となる。そして記述できれば、その記述の範囲において思考についての具体的な議論が可能となる。この考えに従えば、どのような情報をどう記述するかは、思考を捉える上での本質的な課題となる。なにをどう記述するかによって、それらに対して可能となる議論は規定されることになるからである。

教育・学習を人工知能的・認知的に取り扱う場合も、同様のことが言えるであろう。教育においては、異なる主体として学習者と教授者が存在しており、さらに、計算機を用いた学習支援においては、それらの活動を支援するシステムがそれらとは別に存在する。これらは皆、学習者が学習課題について学ぶことを目的に存在している。つまり、これら三者の間の関係は、学習課題を介して成り立っていると考えられる(図1)。システム、学習者、教授者はそれぞれ異なる情報処理を行っていると考えてよいが、それらの間でのやり取りが成立するのは、学習課題に対する共通の認識を持ちうる実体が存在するからと考えるとよい。この考えに沿えば、学習課題に関する共通性のある情報記述を行うことが可能であり、また、それが有用であることを期待できる。特に計算機を用いた学習支援を設計・開発するうえで、中心的な役割を果たすことになる。

以下本稿では、まず、学習課題の情報構造としての再定義の可能性と意義について述べた後、その情報構造の操作を通じた学習を、ガリペリンの知的行為の多段階形成説における対象的行為として位置付ける。さらに、具体例として算数文章題を対象として筆者が行っている一連の研究について述べる。



図1 学習者、教授者、情報システム、学習課題の関係

2. 学習課題の情報構造化と対象的行為

2.1 学習課題の再定義

情報の表現と操作の可能性を広げる情報技術・ツールを前提とすることで、学習課題の情報構造化は従来とは異なったものとなりえる。これは学習課題を新しく捉え直すことになり、情報構造化という観点からの学習課題の再定義であるということがができる。SAMR モデル[Puentedura 06]における情報処理システムの教育・学習への再定義レベルの関与は、この情報構造化によって実現されると筆者らは考えている。

ただし、筆者らはよく言われる「教育現場の情報化が遅れている」という言説に与しているわけではない。むしろ筆者らは、教育現場の情報化は進んでいると見てよいと考えている。ただし、この情報化は、「黒板とチョーク、鉛筆とノート」を前提としたものであり、工学的な情報技術を必要としない情報化であったと考えている。「情報が諸資源と同等の価値を有し、それらを中心として機能する社会」を情報化社会であるとすれば、教育現場はまさに情報化社会となっているといえる。教育現場における工学的な情報技術の導入が遅れているとすれば、それは情報技術を必ずしも必要としない情報の構造化をそのままにして情報技術の導入を図っているからであり、SAMR モデルにおける代替の関与に止まっているからではないかと考えている。

本稿では、学習支援システムを考える上で、学習課題の情報構造の再定義から始めるというアプローチを、情報構造指向アプローチと呼ぶ[平嶋 13]。このアプローチにおいては、学習課題が情報構造として表現されていることから、この情報構造を学習者に理解させることが学習目標となる。そして、そのためにはこの情報構造を用いた様々な活動を学習者に行わせることが必要と思われる。

知識の習得のために最も一般的に用いられる方法として、「答えを求めることを要求する課題＝求答問題(以下単に問題と呼ぶ)」を設定しそれを「解かせる」方法がある。問題を適切に解くためには、与えられた問題の構造を用いることが必要となるのは確かであり、有用な方法といえる。しかしながら、一般的には教育の文脈においては、(1)使える解法は決まっておき、また、(2)問題が解けることも確実であり、さらに(3)構造を部分的・特定の用途にしか利用しない、といったことから、情報構造を利用させる方法として問題を解かせるのがベストの方法というわけで

はない。つまり、構造まで十分に考えなくても、問題中に現れているキーワードを拾い出すだけで、ある程度の確率で正答を導くことができるのが求答問題といえる。むしろ、答えを求める問題を設定することで、学習者の解答を判定することが容易になる、といった運用面でのメリットから問題を解かせることが広く行われているのではないかとはいえる。構造を理解するためには、その構造を組み立てたり、変更したりといった様々な作用を構造に対して加え、その影響・反応を観察・解釈することも有用とされている。本研究では、情報構造指向アプローチに基づく構造理解を目指した学習の支援の方法として、学習者に構造を操作させることの実現を目指す。ここではこれを、「対象的行為」と呼ぶ。

2.2 対象的行為

「対象的行為」とは、ガリペリンが提唱した「知的行為の多段階形成説」[Galiperin 70, 駒林 71, 新井 73]における主な四つの段階、(1)行為の教授・演示、(2)具体的な対象に対する行為、(3)行為の言語による説明、(4)行為の内化＝知的行為の獲得、うちの2段階目にあたる。この学説では、学習者の思考を知的な行為と捉え、その知的な行為として望ましいものを学習者自身が行えるようにするためには、その行為を具体的な対象に対する外的な行為として学習者が行える段階が必要であるとしており、その段階で学習者が行う行為が「対象的行為」となる。この前の段階はその行為を学習者に教える段階であり、教授者による演示はこれに相当すると考えられる。さらに、対象的行為を学習者自身がその行為を外部に対しておよび自分に対して説明する段階を経て、自動化されて意識されなくなる段階、つまり行為の内化が行い、知的行為が形成されることになるとしている。

この多段階形成説は、「外的対象に対する外的な知的行為が外言とその内化を通して一般化した内言による内的な知的行為として形成されていく(p.163)」[東 70]とする考え方として、60年代から70年代に様々な教育の文脈において取り上げている。しかしながら、「ガリペリンによれば、外的行為からその内化された形態を作り上げるうえで、唯一の有効な媒介的活動は、それを外言の水準に移行させることである。ただし、(1)すべての知的行為をそれに対応する外的行為の形態において形成しうるか、(2)内化される過程において生じる行為の変化をどのようにして制御しうるか、については十分説得的ではない(p.493)」[東 68]とされて、主に「対象的行為」の適切な実現に関して大きな制約があるため、十分に確立した方法とはなり得なかったといえる。

この「多段階形成説」とは別に、対象的行為に関しては同様の考え方は様々な提唱されていると言え、たとえばパーパート [Papert 80]はマイクロワールドの考え方を「知識を「頭に入る大きさ」に砕いて考えること」で、「より伝達しやすい、同化しやすい、簡単に組み立てやすいもの」にすることである(訳書 p.199)としており、さらに、このような概念あるいは知識を見つけること、それらを教育・学習に活用すること、さらに、そのための道具としてコンピュータを使うことの重要性を述べている。加えて、これらの試みは、「コンピュータ化」ではなく、「考えるための新しい概念的な枠組みを作ったのである」(訳書 p.213)としている。このマイクロワールドの考え方は、学習者に習得して欲しい抽象的な概念の具体化・物質化に相当し、「対象的行為」を可能にすることを狙っているといえる。Forbus [Forbus 02]の試みている対象理解のための定性モデリング支援環境も同様の考え方に基づくものであると考えることができる。また、大

槻らの提唱した発見的学習とその支援環境[大槻 93]も同様のアプローチと捉えることが可能である。

これらの試みは、コンピュータを用いて対象的行為を実現するものであり、多段階形成説の新しい可能性を示していると言える。しかしながら、これらのこれまでの試みに共通しているのは、様々な課題を取り扱える汎用性の高い仕組み、あるいはモデルを組み立てるための言語、の実現を目指している点である。これに対して、筆者は、汎用性を目指せば、対象となる学習課題特有の情報構造を捉えきれないものになり、また、汎用性を目指すことで、学習課題以外のものについても学ぶ必要が出てきてしまうと考えている。たとえば、パーパートの LOGO を使って図形について学ぶ際には、どうしてもプログラミング言語特有の約束ごとを学ぶ必要が出てきてしまう。

筆者らは、ある学習課題についての対象的行為化を行うためには、その学習課題に特化した情報構造化が必要であると考えており、これを情報構造指向アプローチと呼んでいる[平嶋 13]。このアプローチを取ることで、従来の教育現場において教師が既に行っている情報構造化を超え、情報処理技術によって初めて可能となる活動を可能とするような情報化が可能になると考えている。本稿ではこの具体的な活動を学習者による対象的行為と位置付ける。学習課題を情報構造化し、それを対象的行為が可能なものとして学習者に提供することができれば、その行為は既に「解く」ための活動ではなく、「解る」ための活動になり得る。また、学習課題については、従来とは異なる定義を与えることになり、再定義レベルでの教育の関与になり得る。

以下本稿では、筆者らがこれまでにしている「算数の文章題を対象とした単文統合型の作問学習」[平嶋 13]とそのベースである「三文構成モデル」[Hirashima 14]を紹介し、この試みが、算数文章題を対象とした対象的行為と位置づけることができ、また、算数の文章題に対する「解る」ための活動になっていることを説明する。

3. 算数文章題の再定義と学習活動の設計

筆者はこれまでに算数文章題を対象として、単文統合としての作問活動を提案し、その支援システムを設計・開発し、実践利用を通してその有効性の確認を行ってきている。この作問活動は、算数文章題を三つの単文で構成されるものとする定義に基づいて設計されたものとなっており、また、その問題の組み立ては、この定義された問題の構造を操作し組み立てることになっている。これらのことから、この研究は、本稿の趣旨に沿った事例となっているといえる。以下本稿では、この三文構成モデルとそれに基づいて設計できる学習活動について述べる。

3.1 物語式・問題式・求答式

四則演算の一つで表現される数量関係は、二つの演算数と一つの結果数の三つの数で構成される。算数文章題においては、この三つの数量は概念的な意味を持っているはずである。ここでは、この数量に対する概念的な意味を、数量概念、呼ぶ。一つの数量概念を一つの文で表すとすると、一つの四則演算で表現される数量関係で構成される文章題は、三つの文で表現されることになる。これが三文構成モデルの基本である。ここで、この三つの文で構成される問題を、単位問題と呼ぶ。また、文章題あるいは問題といった場合、ある数量が未知であることを意味するが、未知でない場合にも数量関係は成立する。未知の量を含まない場合を、ここでは(算数)物語と呼ぶ。三つの文で構成される物語を単位物語と呼ぶ。一つの単位物語から、三つの単位(求答)問題が導かれる。

また、物語を構成する三つの数量間の演算関係を、物語式と呼ぶ。そして、問題に対する式、つまり問題に対応して物語式のうち一つの値が未知になった式を問題式と呼ぶ。そして、答えを求める際の計算の式を求答式と呼ぶ。

図2はこの関係を事例的に表したものとなる。ここで、問題1では問題式と求答式が一致する。これが順思考問題である。これに対して、問題2と問題3では、一致しない。これが逆思考問題となる。さらに問題3では、問題式と求答式の演算も一致しない。これが逆演算問題となる。この順思考・逆思考を論じる場合、文の構成順序について考慮する必要があるが、これについては3.2(3)で更に検討する。

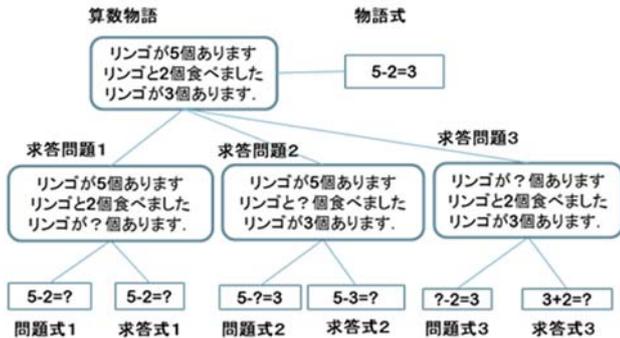


図2 物語、問題、物語式、問題式、求答式

3.2 存在文と関係文

三文構成モデルでは、二つの存在文と一つの関係文で一つの算数物語が構成されているとする。存在文とは、ある単独で存在する数量を表す文であり、図2の場合であれば、「リンゴが5個あります」、「リンゴが3個あります」が存在文となる。これに対して、関係文は、何らかの数量間の関係が存在することを前提とする数量を表す文であり、図2の場合であれば、「リンゴを2個食べます」が関係文となる。この関係文は、ある数量から2を減じた量を作る事象を意味する文となっている。

ここで、存在文は四則のどの演算を表す物語であっても共通で利用できるものとなっている。つまり、「リンゴが5個あります」は、乗除の物語においても存在文として構成要素なり得る。これに対して、関係文は算数物語のタイプによって異なってもとなる。現在、加減においては五つの物語(増える, 減る, 合わせる, 多い, 少ない), 乗除においては二つの物語(一あたり, 何倍)を定義している。それぞれについて更に説明する。

(1) 加減の物語

加減のそれぞれの物語の関係文は、増える物語の場合は、増加関係文(リンゴを5個もらいました, など), 減る物語の場合は、減少関係文(リンゴと2個食べました, など), 合わせる物語の場合は、合併関係文(リンゴとミカンが合わせて10個あります, など), 多い物語の場合は、優量関係文(リンゴがミカンより3個多い, など), 少ない物語の場合は、劣量関係文(ミカンはリンゴより3個少ない, など)となる。これらを適切な存在文と組み合わせることで、それぞれの物語が構成される。ここで、増加・減少の関係文は、同一量の時間的変化を表すものとなる。これに対して合併・比較(優量・劣量)の場合は、異なる量を加減することを表しており、二つの異なるオブジェクトが現れる必要がある。

加減の物語をこのように整理すると、各物語に対応する五つの関係文と、共通で利用される三つの存在文(同種類の存在

文二つと異種類の存在文一つ)で、五種類すべての問題を作ることができる。

(2) 乗除の物語

乗算の物語は、(i)一つあたり量問題, と(ii)倍量問題, の2種類が存在し、それぞれの関係文は、「一つあたり問題」が「一あたり関係文」(1皿にリンゴが5個あります, など), 「倍量問題」が「倍量関係文」(ミカンはリンゴの3倍あります, など)となる。

ここで、乗算に関しては、よく利用される割合の第2用法としての説明との対応づけた必要となる。一般には、「もたになる量」×「割合」=「比べる量」と説明されるが、これは誤解の多い表現であると考えている。三文構成モデルでは、「1あたりの量」×「いくつ分の量」=「全部の量」と説明している。これらは、「一つあたり量問題」と「倍量問題」では、より詳細な説明が異なってくる。1あたり量問題では、いくつ分の量の単位(仮にXとする)と全部の量の単位(仮にYとする)が異なったものとなっており、1つあたりの量の単位は、Y/Xとなる。倍量問題の場合は、1つあたりの量と全部の量の単位が同じとなり、いくつ分が単位を持たない「何倍」という表現となる。比の形で「1つあたり量問題」と「倍量問題」を表現すると、

- ・一つあたり問題:リンゴ5個:皿1枚=リンゴ10個:皿2枚
 - ・倍問題:リンゴ5個:リンゴ10個=1:2
- と表現できる。

また、除算に関しては、除算の計算問題が乗算の九九の逆演算として計算されることから、乗算の物語における求答式が除算となるものと考えて、物語としては定義しなくてよいと考えている。言語として確かに除算に相当する言い回しは存在するが、算数的には乗算物語として理解してから演算と関係づけることになると考えるからである。除算としての言い回しは、物語の順序に関することであるともいえるので、次節で更に検討する。

(3) 物語を構成する単文の順序

加減における物語式/問題式と求答式が異なる場合に問題が難しくなることを指摘したが、単文順を入れ替えることによって、この違いを解消し、問題を解きやすくすることをしばしば行われている。つまり、問題中に現れる数値の順序を、求答式の順序に合わせる問題の構成法である。増える問題と減る問題は、単文が時間順序に沿って並んでいるため、その順序を入れ替えると著しく不自然になるため、そのような例がほとんど無いが、合わせる問題と比べる問題に関しては、時間順序が不可欠ではないため、入れ替えによっても物語が必ずしも不自然とはならない。たとえば、合わせる問題の場合、二つの量が存在した上で、合わせるというのが因果的であり、たとえば「リンゴが5個あります。ミカンが3個あります。リンゴとミカンが合わせて8個あります」というのが標準的な物語といえるが、「リンゴとミカンが合わせて8個あります。ミカンは3個です。リンゴは5個です。」としても不自然とはならず、また、問題中に現れる数値を順に演算関係にした場合、求答式と一致する。ただし、関係式が示唆する演算と問題式=求答式の演算は不一致となる。三文構成モデルでは、このように問題式=求答式となるが問題式の演算が関係文の演算と一致しない場合を、準順思考問題と呼んでいる。

乗算も因果的には割合の第2用法にあるように、「1つあたりの量」×「いくつ分の量」=「全部の量」が自然であると言えるが、時間順序は不可欠でないため、準順思考問題がしばしば現れる。除算については、除算を九九の逆演算として行っているとすると、除算の算数物語は、除算と同様の形では存在せず、乗算物語に変換する前段階としての存在となる。現在のモンサクンタッチではこのような取り扱いを試験的に行っているが、除算

物語の扱いをどうすべきかについては、今後更に検討していく必要がある。

3.3 予測的な思考

このような作問を行うことで学習者が物語・問題の情報構造を把握することができれば、問題に関する予測的な思考ができると期待している。問題に関する予測的思考を図3の例を用いて説明する。「リンゴが5個あります」は存在文であるが、この存在文は他の様々な文と組み合わせることで、様々な役割を果たし、様々な問題を構成することになる。図4のように、この存在文から、五つのすべてのタイプの文章題を作ることができ、また、一つあたり量問題においても、倍量問題においても、いくつ分の量、全部の量の役割を果たす問題がそれぞれできる。これをここでは問題に関する予測的な思考と呼んでいる。

問題についての「予測的思考」の促進は、教員による授業においても取り込まれており、モンサクンと同様のカードを黒板において一つずつ示していきながら、そのカードからどのような物語を作れるかを学習者に考えさせ、述べさせるという授業が実施されている。この際、「？」の入った単文カードを用いる必要はない。すべて数値が入ったカードを用いて考えさせても、学習者は次にどのようなカードが来ればどのような物語が成立するかを能動的に考えることができている。2014年2月に運用した乗除算用のモンサクンタッチでは、2/3の課題が、「問題」ではなく「物語」の作成に当てられている。

このように、算数物語を情報構造として対象的行為可能とし、その情報構造の習得を目的と下作問活動を行わせることで、「解く」から「解る」への転換が図れていると筆者らは考えている。現時点では学習活動の形態上の変化ではあるが、その学習における質的な変化についての定性的・定量的検証を今後行っていく予定である。

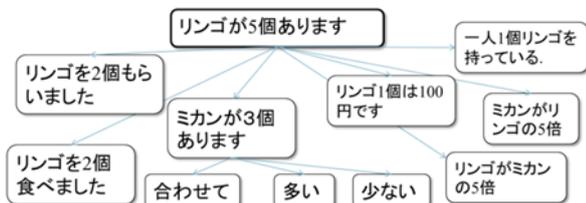


図3 物語に関する予測的思考

3.4 複合算数文章物語の表現

三文構成モデルは、1回の演算で表現される数量関係を持った単位算数物語を表すものであった。複数の演算を含んだ算数文章物語は、この単位物語が複数連結されたものとなる。この単位物語の連結としての複合算数物語の構造的表現の具体的な方法として、単位物語を、三つの文をそれぞれの頂点を持つ三角形として表し、他の三角形との結合を頂点を重ねることで表す算数三角ブロック表現を提案している。単位三角ブロックを構成する三つの数量概念はから、三つの物語式が取り出せるが、ここで、一つの和と二つの差がセットになり、一つの積と二つの商がセットになっていることを、それぞれ1和2差関係、1積2商関係と呼んでいる。

図4に複合三角ブロックの例を示す。物語としては、「持参したお金でリンゴを幾つ買った」というものであり、「リンゴ1個の値段、リンゴの個数、リンゴ全部の値段」に関する単位三角ブロックと、「持参したお金、リンゴの代金、残ったお金」に関する単位三角ブロックで構成されている。ここで、それぞれの単位三角ブロックの演算は、それぞれ差と積で表現されているが、それぞれ

の斜辺の関係を底辺とすることで、差に対しては差と和、積に対しては二つの商、の単位三角ブロックを作ることができる。この算数三角ブロックを用いることで、複合算数文章題の構造的操作も可能となる。



図4 三角ブロック表現

4. まとめ

本稿では、学習課題を情報構造として再定義し、その情報構造の操作を学習活動として行わせることで、その情報構造を学習者に修得させるといった学習支援のアプローチについて述べた。またこのアプローチの具体事例として、算数文章題に対する一連の研究を紹介した。このアプローチおよび事例は情報技術を用いた学習支援が従来の学習活動を変革し、大きな効果をもたらすことが期待できることを示しており、今後さらに追及することが必要であると考えている。

参考文献

- [東 68] 東洋他監修, 学習心理学ハンドブック, 金子書房 (1968).
- [東 70] 東洋編, 思考と言語, 講座心理学第8巻, 東京大学出版会 (1970).
- [新井 73] 新井邦二郎, 知的行為の多段階形成理論, 教育心理学研究, 21, 3, pp.56-61(1973).
- [Forbus 02] Forbus, K.: Helping Children Become Qualitative Modelers, 人工知能学会誌, Vol.17, No.4, pp.471-479(2002).
- [Gal'perin 70] P. Ia. Gal'perin, An Experimental Study in the Formation of Mental Actions, in E. Stones (Ed.), Readings in Educational Psychology, pp.142-154(1970).
- [平嶋 13] 平嶋宗, 学習課題の内容分析とそれに基づく学習支援システムの設計・開発:算数を事例として, 教育システム情報学会誌, Vol.30, No.1, pp.8-19(2013).
- [Hirashima 14] Hirashima, T., Hayashi, Y., Yamamoto, S.: Triplet Structure, Model of Arithmetical Word Problems for Learning by Problem-Posing, Proc. of HCHI2014(LNCS 8522), pp.42-50(2014).
- [駒林 71] 駒林邦男, 知的行為の多段階形成理論研究覚書, 岩手大学教育学部研究年報, 31, pp.1-86(1971).
- [大槻 93] 大槻 説乎, 発見的学習とその支援環境, 人工知能学会誌 8(4), 411-418(1993).
- [Papert 80] Papert S.: Mindstorms: Children, Computers, and Powerful Ideas, Basic Books(1980)(奥村喜世子訳:マインドストーム—子供, コンピューター, そして強力なアイデア, 未来社(1982))
- [Puentedura 06] R.R.Puentedura: Transformation, Technology, and Education. (2006) Online at: <http://hippasus.com/resources/tte/>