

ディープアクティブラーニングを指向した課題設計法としてのオープン情報構造アプローチ: 外在タスク・メタ問題・仮説検証的試行錯誤

Open Information Structure Approach to Design Task for Deep Active Learning: Task-Externalization, Meta-Problem-Making, and Trial & Error with Hypothesis Testing

平嶋 宗^{*1}

Tsukasa Hirashima

^{*1} 広島大学大学院工学研究科情報工学専攻

Department of Information Engineering, Graduate School of Engineering, Hiroshima University #1

In Open Information Structure Approach, a learning content is described as a sematic information structure and a learner is allowed to operate the structure interactively for learning. Several investigations reported the approach is promising to promote active and deep learning. In this paper, the approach is explained from the following three viewpoints: (1) Task-Externalization, (2) Meta-problem, and (3) Trial & Error with Hypothesis Testing.

1. はじめに

筆者はこれまでに、学習課題を意味的で記号的な情報構造として記述し、学習者がその記述をインタラクティブに操作できる環境を実装することで、学習課題に対する学習者の活動をアクティブでディープなものにすることが可能であることをいくつかの事例で確認してきた。現在、この課題設計の方法を「オープン情報構造アプローチ」として定式化することを試みている[平嶋 2018]。本稿では、このオープン情報構造アプローチで設計された学習課題の意義を、(1) 外在タスク化、(2) メタタスク化、(3) 仮説検証的試行錯誤、の三つの観点から論じる。(1) 外在タスク化とは、学習課題及びその課題の解決過程を外在化された操作として行えるようにすることであり、ガリバリンの物質的行為をソフトウェアで実現する試みであり[新井 73]、また、パパートの言うモデル化を行うためのコンピュータ上での操作[Papert 82]、に対応するものである。(2) メタ問題は、問題について考えさせる問題であり、元の問題を情報構造として操作可能にすることで設計可能となる。このメタ問題を通して、問題を解けるという道具的理解から、問題について構造的に知っているという関係的理解への移行を促進すること、およびメタ認知的活動の経験とその経験を通じたメタ認知能力の向上を目指せると考えている。

(1) 及び(2)を「学習者による用意された情報構造の操作」、として実現すると、学習者の可能な操作をあらかじめ定義することができる。このため、学習者の操作を診断すると共に、その診断結果に基づいて学習を促進することを指向したフィードバックを与えることができるようになる。また、(1)(2)共にその解決方法が手続きとしては教えられておらず、すでに教えられている元となる問題の解き方を道具的ではなく、関係的に再解釈することが求められる。このため学習者の活動は、基本的に自分の理解を再解釈し、その再解釈を試してみる活動となる。試してみる活動を学習に結び付けるためには、その「試し」の評価結果が理解可能な形で与えられる必要がある。前述のように、本仕組みでは診断フィードバックが可能であるため、学習者の「試し」に対する「評価」が与えられ、学習者はそれに基づいて「試し」を洗練していきながらタスクを遂行していくことが可能となる。このような振る舞いは、「試行錯誤」と呼ぶことができる。ここで、「試行」には学習者の考えが反映されており、その試行に対して「錯誤」であるとの指摘があることで、その考えを修正し、再度の

試行が行われる、という点を強調する意味で、本稿では、仮説検証的試行錯誤、と呼んでいる。

メタ問題、仮説検証的試行錯誤、に相当するトピックを取り上げ、その重要性を指摘する研究は種々存在するが、それらの研究は、定式化されていない悪定義問題を課題とすることが前提となっており、分節化自体も学習者に行わせることの重要性を強調している。これに対して本稿は、情報構造が明示的に定義されている問題においても、メタ問題の設計やそこでの仮説検証的試行錯誤を促進でき、またそれが本質的であるところと大きく異なる。本稿の試みにおいては、学習者自身が情報構造を取り出す必要がないという意味で分節化が行われていないが、その分節化された構造を認識する必要があることになり、分節化が認識に置き換えられているとみなせる。新たなプリミティブを自分で定義することとして分節化を考えると、学習者に新規性のある知を生み出すことを期待することになり、極めて困難なタスクであるといえることができる。教育とは先人が抽出し洗練した有効なプリミティブを伝えることであるとすれば、このアプローチは妥当であると考えられることができる。

以下本稿では、オープン情報構造アプローチによって実現される外在タスク化、メタ問題、および仮説検証的試行錯誤について説明する。

2. 外在タスク化

2.1 情報構造操作としての思考モデル

「思考」を「情報構造に対する操作」と捉えることは人工知能や認知科学においてしばしば使われる作業仮説の一つである[平嶋 2015, Hirashima 2016]。ここでの情報構造とは、思考の対象を「構成要素」と「構成要素間の関係」として記号的に記述したものである。「情報構造に対する操作」としては、思考の対象から情報構造を取り出す「分節化操作」と、取り出された情報構造を操作する「構造操作」が想定できる。そして通常の思考においては、この情報構造は心的表象として学習者の内部に存在することになる。この捉え方を図式化すると図 1 のようになり、学習者の思考負荷は、(i) 分節化操作、(ii) 構造化操作、(iii) 心的表象としての情報構造の保持、の三つの面から生じると考える。学習を阻害する負荷を軽減し、学習を促進する負荷を維持することが課題設計において重要となる。

連絡先: 氏名, 所属, 住所, 電話番号, Fax 番号, 電子メールアドレスなど

2.2 情報構造とそれに対する操作の外在化

オープン情報構造アプローチでは、(1)情報構造を外在化して学習者に提供し、(2)学習者による外在化された情報構造の直接的な操作を可能にし、(3)その操作結果を反映・フィードバックする、作業環境を設計開発する。図2がその図式化となる。この図式化においては、負荷としては、分節化操作、心的表象の保持、が軽減されることになり、学習者は構造操作に注力することが可能となる。

一般に学習における単位とは、ある構成要素と関係の集合を用いて学習対象の情報構造を記述することができる学習対象の範囲を指すものと考え、単位内での問題解決学習において、対象をどのような情報構造で表現するのが適切であるか自体は、教授されていることであると考えてよい。したがって、学習者が独自に分節化操作を行う必要性は高いとは言えない。むしろ、与えられた構成要素や関係をどう使いこなすかが重要となり、これが関係的理解や深い理解につながると思われる。また、心的表象の保持は、特定の問題解決学習においては、特に重要とは言えない。

このように考えると、ある学習対象に関しての問題解決学習をより実りあるものに、関係的理解へと結びつけるためには、図2のような形での情報構造の外在化と学習者によるインタラクティブな操作を実現することが有望と思われる。

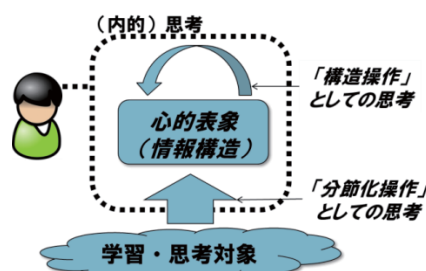


図1 内的思考の図式化

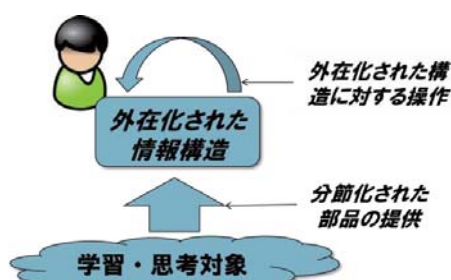


図2 思考の外在化の図式化

2.3 外在タスク化の事例

ここでは、オープン情報構造アプローチに基づく外在タスク化の事例として、(1)三角ブロック[Hirashima 2015a]、(2)三角ロジック[北村 2017]、(3)キットビルド概念マップ[Hirashima 2015b]、の三つを挙げる。

(1) 三角ブロック

算数数学文章題の理解過程の外在タスク化として提案されているのが、三角ブロックである。1回の四則演算で解決可能な算数文章題は、三つの数量命題で構成されている[Hirashima

2014]。この三つの数量命題を組み合わせることで算数文章題を作る作問学習を定式化したのが次章のメタ問題で述べるモンサクンである。この三つの数量命題を三角形の各頂点に配置し、辺をその辺の両端にある数量命題間の演算関係とし、対頂点の数量命題をその演算の結果として表現するのが単位三角ブロックである。単位三角ブロックを複数組み合わせることで、複数演算で解決される算数文章題の数量関係を表現することができる。算数文章題に対する三角ブロックの事例を図3,4,5に示した。三角ブロック表現の大きな利点は、三つの数量命題間に存在する三つの演算関係が視覚化されることである。



図3 1と2の差関係



図4 1乗2除関係

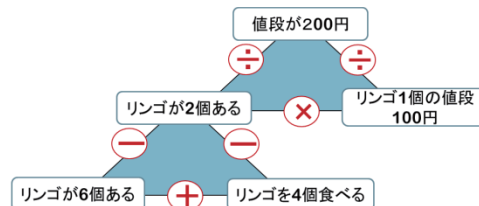


図5 複合三角ブロック

算数文章題よりこのような数量概念間の演算関係を取り出すことは、問題解決過程における問題理解過程に相当する。この問題理解は通常、暗黙的に行われることであり、その過程は具体化されているとは言えない。三角ブロックでは、学習者に部品を提供し、それらを組み立てる活動として、問題理解を外在タスク化している。提供された部品の組み立てとしての活動であるため、その活動は診断可能であり、知的なインタラクションが実現できている。

この三角ブロックを構成する活動が学習者にとって親和性のある活動であること、複数の組み立て方があり、またその組み立て方が学習者の文章題に対する理解を表していること、を示唆する結果がすでに得られている[Hirashima 2015a]。また、この活動の学習効果を示唆する結果も得られている。

(2) 三角ロジック

論理におけるモダスポネンス $((P \rightarrow Q) \wedge P) \rightarrow Q$ 、および三段論法 $((P \rightarrow Q) \wedge (Q \rightarrow R)) \rightarrow R$ は、三つの命題から成立している。三角ロジックは、この三つの命題を、根拠、理由づけ、主張に分け、三角形の各頂点に配置した表現であり、図6にその例を示した。この三角ロジックも、三角ブロックと同様に論理を組み立てる活動を外在化したものと位置付けることができる。この三角ロジックについても、診断・フィードバックが実現できている。

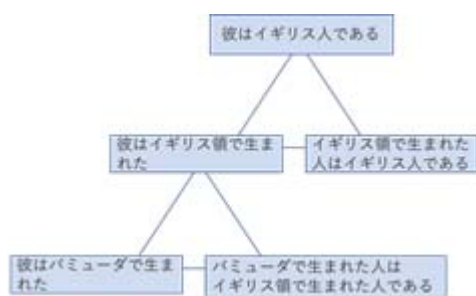


図6 三角ロジックの例

(3) キットビルド概念マップ

文章を読んだり、講義を聴くことはそれ自体が目的となる活動ではなく、読むことや聴くことで内容を理解することが目的であるといえる。しかしながら、肝心の理解することが明確なタスクとはなっていない。このため、読んだり聴いても、内容が理解されていないことがしばしば発生する。内容に対する質問に答えたり、課題を解決することは、その理解を必要としたタスクではあるが、その前提となる理解のタスク化とはいえない。

概念マップはしばしば理解を表現する有力な方法の一つであるとされている。この概念マップを作成することは、理解の外在タスク化の一つといえるが、作成された概念マップの自動診断・フィードバックが困難であるため、インタラクティブ化ができていない。キットビルド概念マップは、学習の観点から理解すること望ましい内容を概念マップとして記述し、それを分解して部品化し、その部品を用いた概念マップの再構成として理解を外在タスク化する。この場合、再構成された概念マップについては診断・フィードバックが実現できる。このキットビルド概念マップの作成が学習効果をもたらすこと、およびその診断が、人手による標準的な診断との比較において妥当なものであることが確認されている[Warunya 2018]。

3. メタ問題

3.1 メタ問題の定義

ここでは、まずある元となる問題が存在し、その元となる問題について考えさせる問題があるとき、それを「メタ問題」と呼ぶ。問題を解くだけでは、その問題や解くために用いた解法の性質について分かったといえないとされており、解けるだけの理解を「道具的理解」と呼び、その意味まで分かっていることを「関係的理解」と呼ぶ。目指すべき理解は関係的理解であるとの立場から、問題を作らせる、解き方を説明させる、問題を変えさせる、など、メタ問題に相当する課題がこれまでににも有用であるとして様々な活用されてきた。しかしながら、これらのメタ問題において知的インタラクションを実現するのは簡単ではなかった。これは、メタ問題のタスク化が十分ではなかったことによる。

オープン情報構造アプローチでは、情報構造として表現された問題に対する操作、組立、変更、としてメタ問題を定式化することで、自動診断・フィードバックを実現している。この仕組みがうまく機能し、また学習効果をもたらすことは、算数文章題や初等力学を対象とした一連の研究で検証している。以下、算数文章題におけるメタ問題の事例として紹介する。

3.2 算数文章題のメタ問題

(1) 単位問題の作問

三数量命題モデルによる単位算数文章題の定義に基づいて設計された作問学習支援システムがモンサクンである。モンサク

ンでは、二つの存在数量命題と一つの関係数量命題が適切に組み合わせると、数量関係を取り出せるとし、この適切な数量命題の組み合わせが算数的物語であり、この算数的物語において一つの数量が未知であり、他の数量から導くことが求められている状況設定が単位算数文章題であるとする。図7はモンサクンの作問画面である。右側に与えられた6個の単文カードから必要なものを選んで左側の空欄を埋めることで三つの単文を組み合わせ、右上の要求を満たす問題を作成する。このような組み立ての形においても、問題を解ける学習者が問題を作るために数多くの試行を行う場合が多いこと、徐々に問題の作り方が分かってくることを示唆する振る舞いがみられること、問題の構造的理解を測るためのテストの成績が上昇すること、がこれまでに分かっている。

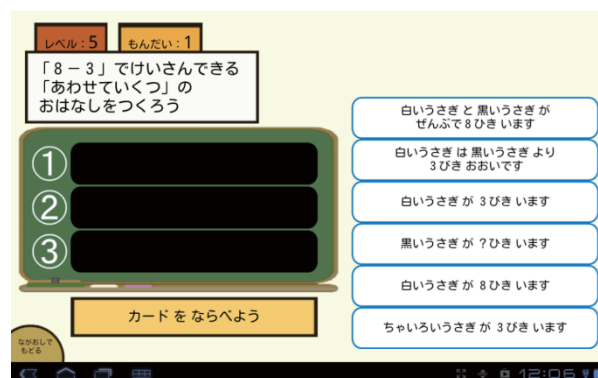


図7 モンサクンの作問場面

(2) 数量関係構造の組み替え

図5の複合三角ブロックは、この数量関係を表す一つのバリエーションにしか過ぎない。この数量関係を別の演算で表現する課題は数量関係組み換え課題であり、メタ問題の一種となる。図8は、授業内でこの組み換えのメタ問題に学習者が取り組んでいる場面である。



図8 三角ブロックの組み換え場面

4. 仮説検証的試行錯誤

4.1 試行錯誤と仮説検証

すでに記憶している手続きを適用して問題を解くのではなく、可能性を考え、それを試しながら問題を解いていくことの重要性は広く認識されており、悪定義問題、オープンエンド問題の教育的価値はそこに基づいている。Computational Thinkingにおいても、手順通りの問題を解くことではなく、探索的に考えることが推奨されており、その過程において試すこと、失敗することが含まれると考えてよい。したがって、この過程は試行錯誤と呼んでよいことになる。このとき、この試行錯誤を通して学習が行われるとは、「錯誤」が「試行」に対する評価になっていることが必要といえる。このためには、「試行」自体が何らかの考えのもとに行われたものであることが必要となる。このことを端的に表現するために、「試行」が学習者の持つ「何らかの考え」の反映であり、「錯誤」がその「考え」の「検証」になっているという解釈

でき、さらに、その「考え」が検証によって修正されることから、その考えは「定説」ではなく「仮説」である捉え、「仮説検証的試行錯誤」という言葉を用いる。もし学習者の行動が「定説」であるならば、それに対する負のフィードバックは受け入れられないと考えられる。受入を前提とした場合、それは「仮説」と呼べるであろうとの立場である。

Engineering Design やデザイン思考も同様な試行錯誤を重視するといえ、特にデザイン思考における「表現—テスト—サイクル」はこのことを端的に表現したものといえる。ここで、「表現」の困難さをタスク外在化として支援し、テストの困難さをフィードバックとして支援するのが本稿の主旨となる。この二つを実時間で支援できれば、サイクルが形成されると期待できる。

4.2 仮説検証的試行錯誤の事例

モンサクンの実践利用データを分析すると、一つの問題を作るために何度も単文の組み合わせの変更を行っていることが分かる。同時に、万遍なく様々な組み合わせを作るのではなく、特定の組み合わせを数多く作っていることがわかる。これは、考えなしに試行錯誤を行っているのではなく、何らかの考えをもって試行錯誤を行っていることを示唆しており、仮説検証的試行錯誤が行われていることをうかがわせる。図9は逆思考問題の作問課題にある学習者集団に行かせた際の作問探索空間における学習者の試行の分布であり、四段のうち一番上はカードなしの状態、2段目はカード1枚が選択されている状態、3段目は2枚、4段目は3枚の状態となる。モンサクンでは3枚カードを並べるとシステムによる問題の診断とフィードバックが行われる。図9の場合、123と記された状態が正解となるが、それ以外の状態が数多くあらわれており、学習者が多くの間違った組み合わせを行っていることが分かる。図10は同じ学習者集団が同様の作問課題に対して再度取り組んだ場合の試行の分布である。試行の分布が異なっており、これは最初の試行において仮説検証的な探索を行った結果、仮説が洗練され、2回目はより適切な作問活動が行えたことを示唆する結果となっている。

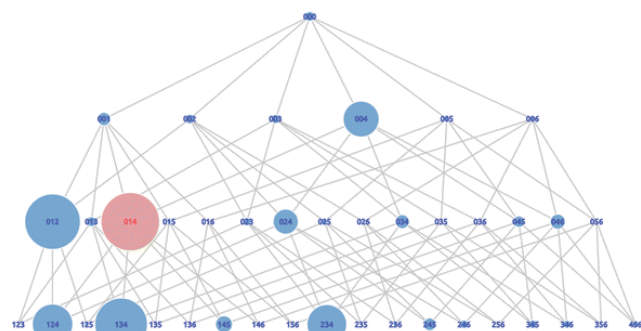


図9 作問探索空間における試行分布（第1回目）

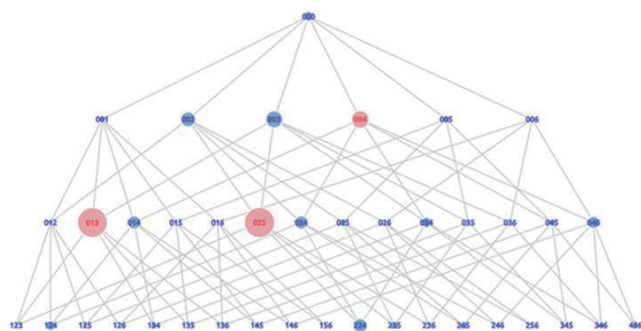


図10 作問探索空間における試行分布（第2回目）

4.3 プロセス中心のシステムデザインとラーニングアナリティクス

学習は学習者の活動の結果である。したがって、学習を促進するとは、学習に貢献する活動を促進することであるといえる。学習者に活動を行わせるのが、学習課題であるとする、学習課題の設定が重要となる。そして、この学習課題の設計は、学習活動というプロセスを中心としたものとなる。また、このような考えのもとでは、学習は結果だけでなく、プロセスにおいて観測・評価することが重要となる。このため、学習者の活動分析としてのラーニングアナリティクスが重要となる。したがって、オープン情報構造アプローチは、プロセス中心のシステムデザインであり、ラーニングアナリティクスを必要とする試みであるといえることができる。

5. まとめ

ディープでアクティブな学習を促進するための課題設計としてのオープン情報構造アプローチについて概説し、このアプローチが学習課題の(1)外在タスク化、(2)メタ問題化、(3)仮説検証的試行錯誤の促進、に寄与しているとの説明を行った。このアプローチの定式化と適用範囲の拡大、および実証データの積み上げが今後必要であると考えている。

参考文献

- [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).
- [Hirashima 2014] Tsukasa Hirashima, Sho Yamamoto, Yusuke Hayashi: Triplet structure model of arithmetical word problems for learning by problem-posing, Proc. of HCI2014, pp.42-50(2014).
- [Hirashima 2015a] T Hirashima, Y Hayashi, S Yamamoto, K Maeda :Bridging model between problem and solution representations in arithmetic/mathematics word problem, Proceedings of ICCE2015, 9-18(2015).
- [Hirashima 2015b] T Hirashima, K Yamasaki, H Fukuda, H Funaoi : Framework of kit-build concept map for automatic diagnosis and its preliminary use, Research and Practice in Technology Enhanced Learning 10 (1), 1-17(2015).
- [平嶋 2018] 平嶋宗, 林雄介: メタ問題設計法としてのオープン情報構造アプローチ, 人工知能学会研究会資料, SIG-ALST-B509(2018).
- [平嶋 2015] 平嶋宗: 「学習課題」中心の学習研究 —情報構造としての学習課題の再定義と構造操作としての学習活動の設計—, 人工知能学会誌, Vol.39, No.3, pp.277-280(2015).
- [Hirashima 2016] T Hirashima, Y Hayashi: Scaffolding of thinking about structure with kit-building task, Workshop Proceedings of ICCE2016, 379-382(2016).
- [北村 2017] 北村拓也, 長谷浩也, 前田一誠, 林雄介, 平嶋宗: 論理構造の組み立て演習環境の設計開発と実験的評価, 人工知能学会論文誌 32 (6), C-H14_1-12(2017).
- [Papert 82] S. Papert, “Mindstorms: Children, Computers and Powerful Ideas,” Basic Books (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).
- [Warunya 2018] Warunya Wunnasri, Jaruwat Pailai, Yusuke Hayashi, Tsukasa Hirashima : Validity of Kit-Build Method for Assessment of Learner-Build Map by Comparing with Manual Methods, Vol.E101-D, No.4, (2018).