

2.2.2 自己説明

例題ベースの学習などにおいて用いられる自己説明[11]は、学習者に自身の行った問題解決を説明させるものであり、メタ認知的思考を学習者に求める典型的な課題となっている。対象となる元の問題・問題解決が明確であることから、明らかにメタ問題であり、また、多くの研究において取り上げられていることから最も普及した形のメタ問題であるといえることができる。

2.2.3 問題・解決過程の評価・比較

ある問題についての難易度を見積もらせる、あるいは複数の解決方法がある場合にそれらの違いを考えさせるといった課題が存在するが、これらもメタ問題であるといえることができる。また、複数の問題を対象として、それらの違いを説明させる[12]、あるいは、それらの何らかの基準で系列化・順序付ける[13]といったことも課題として成立する。これらも元の問題とその解決を前提として設定されている問題であり、メタ問題となる。

3. オープン情報構造アプローチ

3.1 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ける基本的な作業仮説の一つである[2]。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。

3.2 情報構造とそれに対する操作の外在化

OSA 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、学習負荷としては、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元とは、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、単元内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考えることができる。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し、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。

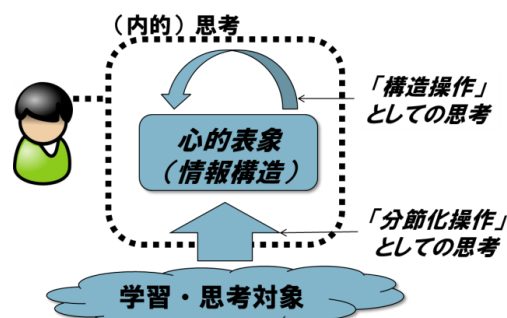


図1 内的思考の図式化

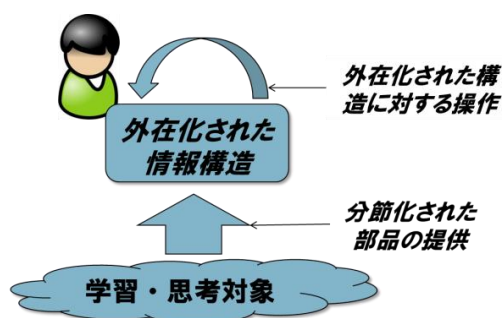


図2 思考の外在化の図式化

ただし、メタ認知能力自体の育成という意味においては、分節化操作や心的表象の保持も大きな役割を果たしており、それらを軽減していることは必ずしも良いとは言えない可能性がある。しかしながら、これについても、情報構造について理解を深めることが両者に対する強化につながる可能性もあり、必ずしも中期的にも必ずしもマイナスになるとは言えない。この点は今後検討が必要といえる。

3.3 システム設計上の意義

システム設計の観点からすると、情報構造およびその操作を明示的に定義することができれば、その情報構造の対する学習者の操作を診断し、フィードバックを返すことができるようになる。学習者は自身の操作とフィードバックから、情報構造についての内的モデルを構築していくことが期待できることになる。情報構造が学習者の思考に沿っていることを認知的と呼び、情報構造に対する操作を計算機的に処理可能であることを **Computational** と呼んでいる。OSA では、元々計算機が内部処理のために用いていた、あるいは内部処理可能なレベルで **Computational** にモデル化していたものを学習者に提供するものであり、また、学習者の認知構造に沿った情報構造が指向されている。したがって、OSA は、**Computational** で認知的な情報構造の作成とそれに基づくシステム設計を基本とする。

3.4 システム開発事例

筆者らがこれまで行ってきた算数・数学の文章題を対象とした学習支援の試みは、この OSA の一つと位置づけられるものである。また、力学問題を対象とした問題系列化[13]や問題単純化[14]、接続詞変更による文意変更課題[15]、三角ロジックを用いたモーダスポネンスや三段論論法の組立課題[16]も、同様にメタ問題の設計として位置付け可能と考えている。さらに、読解に関しても、概念マップの組み立てとして「タスク化」することで、読解に基づく質問生成、読解の比較などのメタ問題を設定できると考えている[17]。次章では、算数・数学の文章題を対象とした作問学習を事例として、OSA に基づく、認知的で **Computational** なメタ問題の設計について述べる。

4. 研究事例

筆者らは、算数数学の文章題の構造化と学習活動としてのその構造的操作の知的学習支援に関する一連の研究を行っており、幼稚園児を対象とした絵図の組み立て学習、1年生における和差文章題、2年生における乗算文章題、3年生における乗除算文章題、4年生での複数演算組み合わせ文章題、5、6年生における割合文章題および複合的な文章題、そして、中学1年生における方程式立式文章題、においてシステム開発及び授業実践を行っている。これらをまとめたのが表1となる。これらは、1回の四則演算で解ける文章題に関する三数量命題構成モデル[18]と、それを複数演算に拡張した三角ブロックモデル

[19]に基づいて設計開発されている。この一連の研究の中で用いられている問題は、文章題を解けるようになった学習者が、さらにより高度な課題として取り組むべきメタ問題であったり、通常は問題解決の一部として暗黙的に行われていることのタスク化とそのタスク化に基づくメタ問題の設計、になっている。以下本章では、これらについて概略的に紹介する。

表1 算数・数学に関する一連の研究

主対応学年	内容	システム
幼稚園	絵図を用いた数量関係の組み立て	Monsakun-Illustration[20]
小学1年	和差文章題	Monsakun-Addition&Subtraction[21,22], Monsakun-Whole&Part[23]
2年	乗法文章題	Monsakun-Multiplication[24]
3年	乗除文章題	Monsakun-Division[25]
4年	複数演算文章題	Monsakun-TriangleBlock[26]
5年	割合文章題	Monsakun-Ratio[27]
6年	複合文章題	Monsakun-TriangleBlock[19]
中学1年	1元方程式	Monsakun-Equation[28]

4.1 算数数学文章題の情報構造

本章では、算数数学文章題の情報構造としての、(1)三数量命題構成モデル[18]、と(2)三角ブロックモデル[19]、と、その情報構造に基づいて構成されるメタ問題について紹介する。

一つの四則演算で表現できる数量関係で表せる算数文章題を単位問題と呼び、この単位問題を、二つの存在量命題と、一つの関係量命題で構成されるものとして表現するのが、三数量命題構成モデルである。存在量命題は四則に共通に使える命題であり、関係量命題は演算に特有となる。

たとえば、「命題1：リンゴが6個ある」、「命題2：リンゴが2個ある」、「命題3：値段は600円」は存在量命題であり、「命題4：リンゴを4個食べる」、「命題5：リンゴ1個が100円である」などは、関係量命題である。命題1、4、2の組み合わせで、減算の数量関係を持つ文章題が構成される。命題1、5、3を組み合わせることで、乗算の数量関係を持った算数文章題が構成される。乗除の関係量命題は、二つの単位を変換する命題となる。

三角ブロックモデルは、この三数量命題を三角形の各頂点に配置し、さらに各辺に演算関係を配置したものである。これは、1和2差関係、1乗2除関係を底辺と斜辺で可視化する表現となっており、図3、4はその事例となる。三角ブロックでは、これらをさらに組み合わせることで、図5のように複数の数量関係を表すことができる。

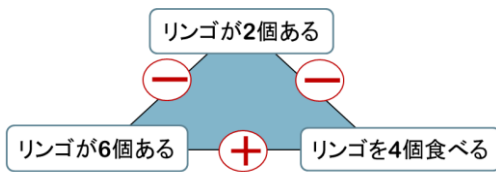


図3 1和2差関係

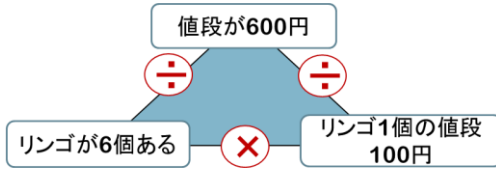


図4 1乗2除関係

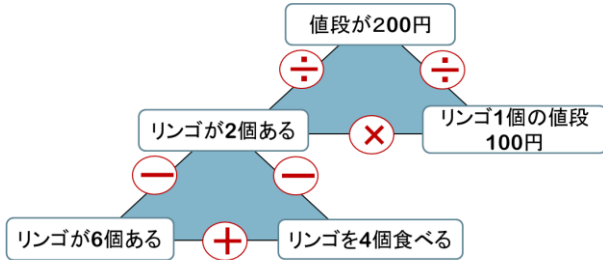


図5 複合三角ブロック

4.2 基本文章題の作問学習：モンサクン

数量命題集合から必要な命題を取捨選択し、組み合わせることとして文章題を作成する学習環境がモンサクンである。モンサクンでの文章題の作問は、文章題を元問題としたメタ問題であるといえる。また、三数量命題構成モデルに基づく算数文章題の情報構造を、学習者が操作するタスクとしてメタ問題を設計しており、OSAに沿ったものであるといえる。

4.3 文章題理解のタスク化とメタ問題

図6は、文章題に対する複合三角ブロックを、提供された部品から組み立てる学習環境である[19]。この組み立て自体は、対象の文章題を解く過程の一部として位置付けることができ、メタ問題とはいえないが、文章題理解、つまり概念的な表現を数式的表現に変換する過程を具象的に表すものとなっている。一般的には、文章題理解の過程は頭の中で暗黙的に行われるものとなっているが、この三角ブロックによって、作業とゴールが具象化されており、タスク化といえる。この文章題理解のタスク化により、この理解に対するメタ問題を設定することができる。図7は、授業の中でこの複合三角ブロックを組み替えている姿であり、これはメタ問題となっている。同様の活動として、中学校1年における方

式の導入において、三角ブロックを用いて変数の置き方によって異なる方程式を立てるといったメタ問題を授業内で実施できている。

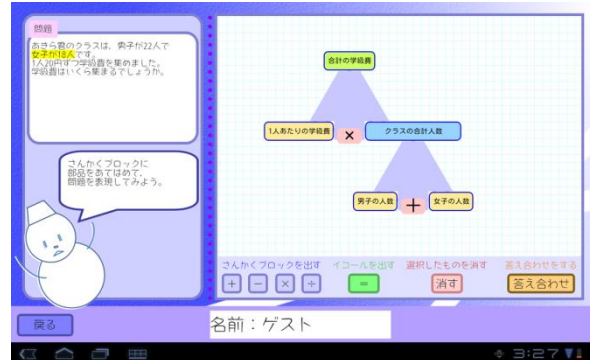


図6 モンサクン三角ブロック



図7 複合三角ブロックの組み替え活動

5. まとめ

4.2で述べた作問の場合、それ自体が「メタ問題」となっていた。4.3で述べた三角ブロックの組み立ては、それ自体は問題理解という暗黙的な過程の「タスク化」であり、メタ問題とは言えないが、その「タスク化」によって構造の変換や比較などのメタ問題を定式化することが可能となっている。いずれも、学習者の作成した情報構造を自動診断・フィードバックするといった知的支援を実現している。これらのことから、対象の情報構造化と学習者による直接操作といったOSAがメタ問題およびタスク化に対する有望な取り組みの一つであるといえる。本稿では筆者らの一連の研究をOSAとして解釈したが、メタ問題自体は様々な研究されているといえ、今後はそれらとの関係付けを進めていく予定である。

参考文献

- [1] Carbonell, J. R.: Ai in CAI: An artificial intelligence approach to computer-assisted instruction, *IEEE Trans. on Man-Machine Systems*, Vol. 11, No. 4, pp. 190-202 (1970) .
- [2] 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).
- [3] 松居辰則, 平嶋 宗: 学習課題・問題系列のデザイン, 人工知能学会誌, Vol. 25, No. 2, pp. 259-267 (2010).
- [4] 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)
- [5] R.R. スケンプ: 数学学習の心理学.(藤永保, 銀林浩訳). 新曜社(1973).
- [6] Star, J. R.: Reconceptualizing procedural knowledge. *Journal for Research in Mathematics Education*, 36, 404-411(2005).
- [7] 波多野諠余: 適応的熟達化の理論を目指して, 教育心理学会年報, Vol.40, pp.45-47(2001).
- [8] T.Hirashima: Computer-based intelligent support for moderately Ill-structured problems, *ICSITech2017*. pp.1-6(2017).
- [9] 平嶋宗: 「問題を作ることによる学習」の分類と知的支援の方法”, 教育システム情報学会研究報告, Vol.20, No.3, pp.3-10 (2005) .
- [10] 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).
- [11] K VanLehn, RM Jones, MTH Chi: A model of the self-explanation effect, *Journal of the Learning Sciences*, Vol.2, pp.1-59(1992).
- [12] 中野 明, 平嶋 宗, 竹内 章: 問題を比較することによる学習の支援環境日本教育工学会論文誌, 28,3, pp.171-181(2004).
- [13] T. Horiguchi, T. Tomoto, T. Hirashima: The Effect of Problem Sequence on Students' Conceptual Understanding in Physics, *Proc. of HCI2015*, pp.313-322(2015).
- [14] 武智俊平, 林直也, 篠原智哉, 山元翔, 林雄介, 平嶋宗: 単純化方略を用いた問題解決失敗の自己克服支援システムとその実践的評価—初等力学を対象として—, 電子情報通信学会論文誌 D, J98-D No.1, pp.130-141(2015)
- [15] 緒方 祐, 林 雄介, 平嶋 宗, ” 接続詞を伴った文表現と含意を伴った状況表現の双方向組立による接続詞演習環境の設計・開発”, 信学技報, Vol. 114, No. 513, pp. 163-168, (2015)
- [16] 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践的評価, 第 32 卷 6 号 人工知能学会論文誌 (2017).
- [17] 本田優二朗, 三谷直裕, 平嶋宗, 林雄介, “概念マップに対する関係的理解の促進のための質問作成演習, システムの設計・開発”, 2017 年度 JSiSE 学生研究発表会(2018).
- [18] 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).
- [19] 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).
- [20] PGF FURTADO, T HIRASHIMA, Y HAYASHI, K Maeda :Learning Arithmetic Word Problem Structure with a Picture Combination Application in Kindergarten, *ICCE2017*, pp.11-20(2017).
- [21] 横山 琢郎, 平嶋 宗, 岡本 真彦, 竹内 章, ” 単文統合としての作問を対象とした学習支援システムの設計・開発”, 教育システム情報学会誌, Vol.23, No.4, pp.166-175 (2006) .
- [22] 倉山めぐみ, 平嶋宗: 逆思考型を対象とした算数文章題の作問学習支援システム設計開発と実践的利用, 人工知能学会論文誌, Vol.27, No.2, pp.82-91(2012).
- [23] 合田 将治, 林 雄介, 平嶋 宗, ” 算数文章題の構造的理解を指向した問題文と全体部分関係の対話的組立環境の設計・開発”, 信学技報, Vol. 114, No. 513, pp. 107-112, (2015)
- [24] 山元翔, 橋本拓也, 神戸健寛, 吉田祐太, 前田一誠, 平嶋宗: 作問学習支援システム「モンサクン」への乗法の実装とその実践利用, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J99-D, No.2, pp.232-235(2016).
- [25] 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, Vol.J100-D, No.1, pp.60-69(2017)
- [26] Tsukasa Hirashima, Kazutoshi Furukubo, Sho Yamamoto, Yusuke Hayashi and Kazushige Maeda : Practical Use of Triangle Block Model for Bridging between Problem and Solution in Arithmetic Word Problems, *Proc. of ICCE2016*, pp.36-45(2016).
- [27] 本多創一, 林雄介, 平嶋宗: 算数文章題の言語・数式・空間表現の相互変換を通じた割合を含む乗除構造の关系的理解を促進する演習システムの設計・開発, 2017 年度教育システム情報学会学生発表会(2018).
- [28] 山本晏宏, 吉村穰, 林雄介, 平嶋宗: 代数文章題と算数特殊文章題への三角ブロックモデルの適用, 教育システム情報学会 2016 年度第 6 回研究会(2017).