

# 単文統合型作問支援のための視線情報からの作問プロセス分析

## Analysis of Problem-Posing for Interactive Learning Environment of Problem-Posing with Eye Mark

広田 智也\*<sup>1</sup>  
Tomoya Hirota

Supianto Ahmad Afif\*<sup>1</sup>

林 雄介\*<sup>1</sup>  
Yusuke Hayashi

平嶋 宗\*<sup>1</sup>  
Tsukasa Hirashima

\*<sup>1</sup> 広島大学大学院工学研究科  
Graduate School of Engineering, Hiroshima University

Eye movement analysis has been used to analyze and understand human higher cognitive processes. This paper discusses analysis of learners' thinking in problem-posing process on the problem posing environment named Monsakun. In this environment users pose arithmetic word problems satisfying the provided requirements by combining three sentence cards. Records of answers and operations by users can be information to suppose learners thinking in problem-posing. In addition to that, this study use eye movement information to understand learners thinking. This paper organizes the model of arithmetic word problems and problem-posing process, relates them with eye movement and then discusses problem-posing support.

### 1. はじめに

視線測定は人の高次認知処理を外界から観察する手法の一つであるといわれている[大野 02]。人の高次認知処理は、100ms 以下の細かい時間で行われているが、視線運動は100ms と同等かそれ以下の時間で測定可能であるので、高次認知処理の観察が可能であるためである。

この特性を利用して、人間の思考を支援するために視線情報を利用しようとする研究が多く行われている。例えば、操作に至るまでのユーザの迷いを、視線情報を検出しパターンを分析し、迷いの状態を判別させることで、支援を可能にする研究[高木 00]や、多肢選択問題における学習者の心的状態である正答への確信を、視線情報を用いた分析と検証の研究[村松 12][小島 14]がある。これらは活動における動作の間隔や所要時間に比べ視線のサンプリング粒度が細かいことを利用して、より細く支援対象者の観察を行うことを目標としている。

本研究では、単文統合型作問演習環境モンサクン Touch[山元 13]を対象として、学習者が問題を作っていく過程(以下、作問プロセスとよぶ)を視線情報を利用してより適切に支援することを目標とする。このシステムでは、作問を用意された複数の単文の中から3つの単文を組み合わせて、システムが学習者の作成した問題を即時診断・フィードバックできる演習環境となっている。また、いくつかの教育現場で実践的に利用されており、作問活動の増加や問題解決能力向上といった効果も確認されている。さらに学習者の作問プロセスの結果の反映としての作問回答結果の分析[Nur 15]と、作問プロセスにおける一つの単文の選択過程の分析[Afif 15]から、作問回答結果の分析からは、学習者はでたために作問しているのではなく、算数文章題の成立条件を明示的または暗黙的に意識し、学習者が理解している範囲でその成立条件をできるだけ満たすように作問を行っていると考えられるデータが得られている。

本研究の目的は、作問プロセスにおける個々の意思決定の中で学習者がどの情報を参考にしてしているかを視線情報から明確にし、視線を誘導することによって作問プロセスを支援することである。そのために、作問時における視線の計測、正しく算数文章題の成立条件を理解している場合の適切な作問プロセス

のモデルの構築、実際の学習者の視線と適切な作問プロセスモデルとのギャップの検出、そして、そのギャップに基づく視線の誘導による作問プロセスの支援、の4つを実現するための情報技術を確認する。本研究では、モンサクン touchを対象としているが、上記の4つのことは、学習者の実際の思考や操作と理想的なもののギャップに基づき、フィードバックを行うという一般的な手法[VanLehn 2005]であり、本研究では、これを視線情報を利用して行うものに拡張することを目指す。

### 2. 単文統合型作問学習支援環境モンサクン

学習者の算数文章題の理解を支援するために、単文統合型作問学習支援環境モンサクンが研究されており、モンサクン Touch と呼ばれるシステムが開発されている。ここで行われる活動は掲示された課題に合わせて複数用意された単文カードから3つの単文カードを組み合わせて算数文章題を作成するというものになっている。演習時のシステムの画面が図1である。

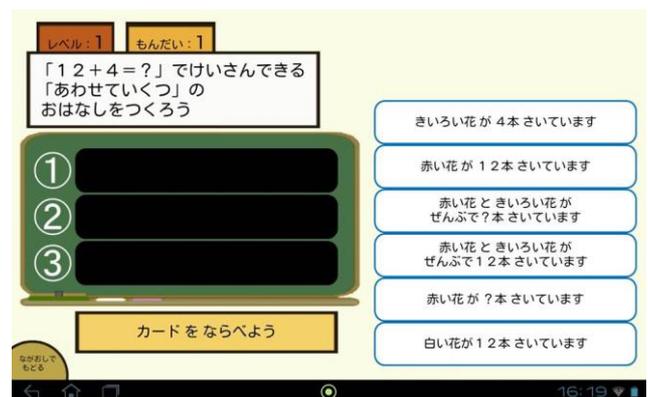


図1 モンサクン Touch のインタフェース

#### 2.1 作問演習時の思考の推定

学習者の作問演習時における思考を推定するためには学習者から情報を取得する必要がある。モンサクンでは学習者から算数文章題を作成した回答結果と算数文章題を作成する過程のカード選択過程を取得することができる。本研究ではさらに、学習者の視線情報を取得することを考えている。以下にそれぞれの情報において、推定可能な内容について述べる。

## 2.2 回答結果

回答結果には学習者が与えられた作問課題に対してどんな算数文章題を考える必要があるか思考し、その結果が反映されている。よって、学習者が最終的にどんな思考に至ったのかが推定可能である。

## 2.3 カード選択過程

カード選択過程にはカード 1 枚ごとの選択に学習者のある基準をもった思考が反映されているので、学習者の算数文章題に対する考え方が推定可能である。また、学習者がある選択順序から別の選択順序にカード操作を反映させた場合、学習者が何かに気づき思考を変化させたことが読み取れる。

## 2.4 視線情報

視線情報を用いることで、カード操作よりもさらに細かく学習者を観察できるので、単文カードの構成要素単位で思考の様子を検出でき、カード選択に至るまでの思考過程の推定の情報源とできると考えられる。

## 3. モンサクンの演習構造

2 章でそれぞれの取得可能な情報に対してできる推定は、モンサクンの三文構成モデルと演習構造に基づいて述べている。ここでは、その三文構成モデルと演習構造について述べる。

### 3.1 三文構成モデル

モンサクンでは 3 つの単文から算数文章題を作成可能としている。これは単文がオブジェクト、数量、述語から構成されるとし、単文の種類をオブジェクトの存在を示す存在文とオブジェクトの関係を表す関係文に定義することで、2 項演算で計算可能な算数文章題を存在文 2 つと関係文 1 つで作成可能としているからである。これを三文構成モデルと呼ぶ。このモデルによりモンサクン Touch では単文が表示されているカードを操作し、3 つ組み合わせて作問を行うことができる。

### 3.2 作問演習時における学習者への制約

モンサクンの作問課題は課題に掲示された条件を満たすように算数文章題を作成すること、そして算数文章題を作成するために複数用意された単文から課題に沿うように 3 つ選択することといえる。このことからモンサクンの演習において学習者に課せられる制約として算数文章題を正しく作成すること、課題の条件と一致していることとなる。

算数文章題を正しく作るためには、三文構成モデルに基づき、文構成とオブジェクト構成、数量構成の 3 つの制約を満たす必要がある。文構成を満たすためには選択した 3 つのカードのうち 2 つが存在文で、残りの 1 つが関係文である必要があり、作成する文章題の物語の種類によって単文カード間に時系列が発生するため、単文の順序の制約が関わる場合がある。オブジェクト構成を満たすためにはオブジェクトの関係が正しく構成されるようにする必要がある。数量構成を満たすためには、選択した 3 つの単文の数量関係を正しく構成する必要がある。

課題の条件には作成した算数文章題の答えを求める計算式を指定する計算式の条件と物語を指定する物語の条件の二つがある。これを満たさなければ算数文章題を正しく作成できたとしても、課題とは一致しておらず目的の文章題とは別のものを作成したこととなる。

学習者には算数文章題を作成する際に文構成、オブジェクト構成、数量構成、計算式条件との一致、物語条件との一致の計

五つの制約が課されている。以上の制約がモンサクンの演習課題に存在し、課題に正解するためにはこの制約を満たすように考える必要がある。

## 4. 三文構成モデルと演習構造に基づいた思考の推定

### 4.1 回答結果における思考推定

演習構造をもとに回答結果から思考を推定することができる。回答パターンは用意されたカードの組み合わせ総数のぶんだけ存在する。それぞれ回答パターンは演習構造に基づくことで、どの制約を満たしているかがわかる。よって、回答結果からどんな思考になったか推定することができる。

図 2 にはある作問結果の一例が表れている。このときの作問結果について五つの制約の観点から考える。まず「白い花」と「きいろい花」があるときに、「赤い花」と「きいろい花」の数を合わせる問題となっており「白い花」と「赤い花」の違いによりオブジェクト構成の制約が満たせていないことがわかる。次にこの文章題では花が「12 本」と「4 本」さいているが合わせると「12 本」さいていることになる。これは数量構成が正しくないので、数量構成の制約が満たせていないことがわかる。最後に、計算式条件が「 $12+4=?$ 」となっているが作成した文章題では「 $12+4=12$ 」となってしまう、課題と一致していないため、計算式条件を満たせていないことがわかる。この回答結果からはオブジェクト構成、数量構成、計算式条件の三つの制約を考慮できていないことがわかる。このように学習者が作成する回答結果から、算数文章題を成立させる五つの制約のうち、どれを満たすように考えられたかが分かる。そして、満たすことができなかった制約を満たすように考えられるようになることが学習目標となる。

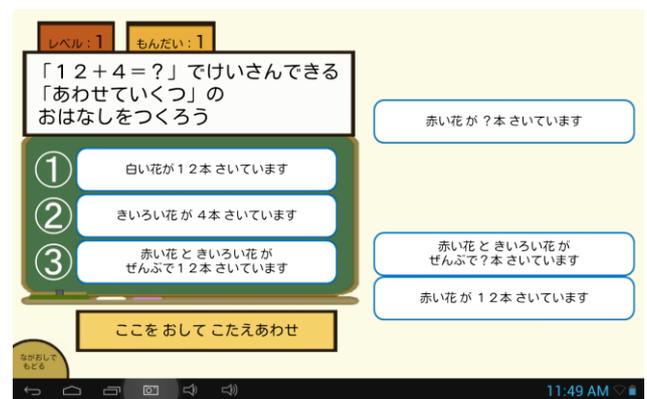


図 2 算数文章題作問結果例

### 4.2 演習中の思考とカード選択

モンサクンで行う三文構成モデルに基づく単文統合型の作問演習では、三つの単文カードを組み合わせて課題の条件を満たす算数文章題を作成する。この行為は限られたカードの中から 3 つのカードを順に選んでいくことであり、選択されたカードの組み合わせを 1 つの状態とすると、例えば、図 3 のような課題のときには、図 4 のような木構造として状態空間を表すことができる。根がカードを全く選択していない状態、葉が 3 つのカードを選択した状態、そして、中間状態が上から順に 1 枚選択、2 枚選択した状態となる。また、状態間のリンクは状態遷移が可能であることを示す。

モンサクンでの作問プロセスは、この上で状態を遷移していくこととなる。例えば、学習者が 1 番、2 番、3 番のカードを選択し

回答とするとき、そのカード選択過程は 123 を選択している状態からたどることができる。このようなカード選択状態遷移にある思考を推定することでより細かく解釈することができる。このように、モンサクンで行う三文構成モデルに基づく単文統合型の作問演習では、作問における状態空間を定義できる。

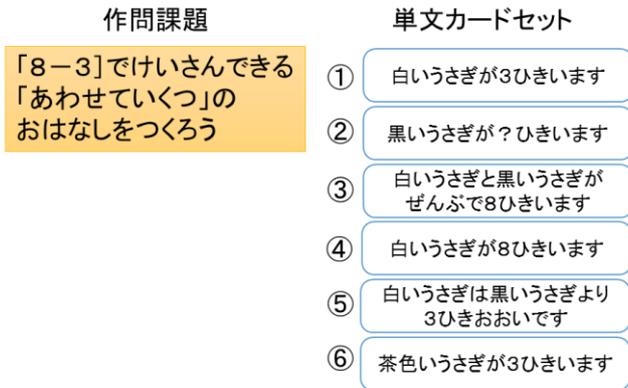


図3 作問課題と与えられる単文カードセット

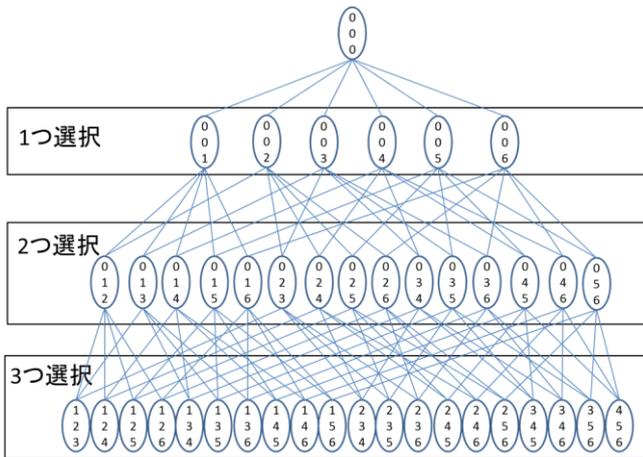


図4 カード選択状態遷移の木構造表現図

### 4.3 三文構成モデルと演習構造から推定できる考え方

学習者は課題に正解するために必要な制約をすべて満たして考える必要があるため、逆にそれぞれの制約を満たす考え方は三文構成モデルや演習構造の情報構造を用いて推定できる。よって、演習中の思考をそれぞれの制約を満たす考え方として扱うことが可能である。

計算式条件の制約を考慮する際、計算式の数値順に考えることと、計算式条件と一致する文章題になるように考えることがあげられる。前者においては、数値の順序通りにカード選択を行うと推定でき、後者では数量構成を決定する関係文のカードを基準とした選択を行うと推定できる。

物語条件を満たすように考慮する際は、作成する文章題の物語を決める関係文を基準として考えることがあげられる。よって、物語条件と一致する単文カードをカードセットから選択されることが推定される。

文構成を満たすように考慮する際は、存在文が2つ、関係文が1つになるように考えることと、物語によって時系列があるので加えて順序を考える必要がある。よって、カード選択を文構成が正しくなるようにすることと、時系列が生じる場合に、カードの順序を正しく選択することが推定できる。

オブジェクト構成を満たすように考慮する際は、関係文と存在文の間のオブジェクトの関係を考えるので、カード選択にはオブジェクト構成を正しくする選択が推定できる。

数量構成を満たすように考慮する際は、関係文と存在文の間の数量の関係を考えるので、数量構成を正しくするカード選択が推定できる。

それぞれの制約を満たすように考える思考は独立したものであり、複数の制約を満たす際はそれぞれの思考が組み合わさるものと考えられる。

### 4.4 作問時の考え方とカード選択過程

図4で示した木構造に計算式の数値順に考えるカード選択を合わせると図5のように表現できる。課題の計算式は「8-3」なので、「8」、「3」、「?」と選ぶ状態遷移が数値順に考える思考が反映されていると考えられる。一枚目のカードは「8」、二枚目のカードは数字の「3」、三枚目のカードは「?」が含まれるカードが選択の候補となる。このようにカード選択遷移にどの思考が反映されているか考えることができる。

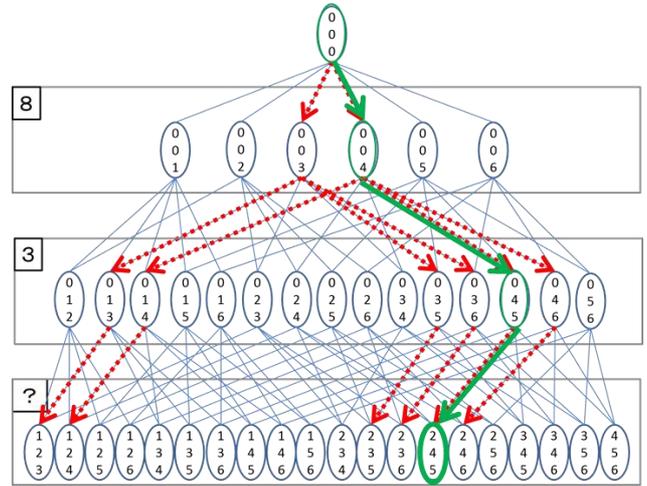


図5 計算式の数値順に考えカード選択するパス

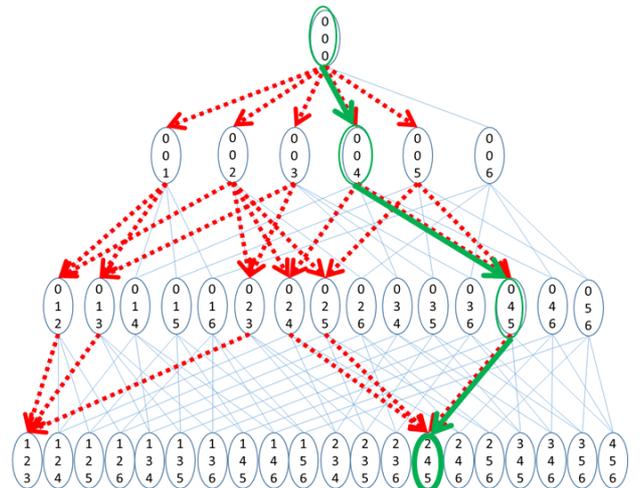


図6 計算式が成立するように考えカード選択するパス

課題の計算式「8-3」が成立するように考えるカード選択であれば、図6のように表現できる。8-3が成立する文章題を考えるため、カード選択過程のなかで関係文と存在文の数量構成を考える部分が存在することが考えられる。

このとき、図 5 図 6 において下部の緑色部分が二つの考え方において共通する誤り回答となり、2 番、4 番、5 番のカードを選択した状態である。このときこの状態に至るパスを考えると緑色の矢印にあたるパスが共通のパスであることがわかる。これはこのパスを通して回答に至ったとき、数値で考えたのか、計算式が成立するように考えたのか、二通りの思考が推定できる。

## 5. 視線情報を利用した思考の推定と支援

### 5.1 三文構成モデルに基づく視線情報の取得

4 節で述べたように、回答や作問プロセスからは、思考が複数通り推定できる場合がある。本研究では、学習者の視線情報を用いることによってさらに思考の推定を絞り込むことを目指す。視線はカード選択よりも細かく学習者を観察できるので、モンサクンの演習内での視線情報を三文構成モデルや演習構造に基づき、そこで学習者が思考する算数文章題の制約と関連する視線情報を抽出することを考える。

学習者は何かを判断基準としてカードを選択する。その判断基準は作問課題における制約を満たすための要素であることが考えられる。文構成の制約では単文カードの述語を確認して存在文と関係文の判断する。オブジェクト構成の制約では存在文と関係文のそれぞれのオブジェクトを確認して判断する。数量構成の制約でもそれぞれの数量を確認して判断する。計算式条件では課題に提示されている計算式を確認して判断する。物語条件でも課題に提示されている物語を確認して判断する。以上のことから単文カードの構成要素でもある「オブジェクト」、「数量」、「述語」と課題に条件として提示されている「計算式」と「物語種類」を見たか、視線情報から確認できるようにする。よって、これらの要素上に視線が来たときを視線情報として扱う。このように扱うことで、カード選択時に何を見たか確認でき、その要素からどの制約について考えていたのかの推定、構造から推定した考え方をさらに細かく解釈できるのではないかと考えている。

### 5.2 視線情報による思考推定からの支援予想

図 5 と図 6 で、数値順序通りの考える場合と計算式が成り立つように考える場合では、同じパスで同じ回答結果になることがあることを示した。この時、視線情報を使って、どちらの思考であるかが判断することを考える。数値順序通りの考え方の場合には単文カードの数字のみに視線が移動していると予想され、計算式が成り立つように考える場合は単文カードの数字と関係文の述語に視線が移動していると予想できる。よって、実際に視線を計測することによって、どちらであるかを判断できると考えている。

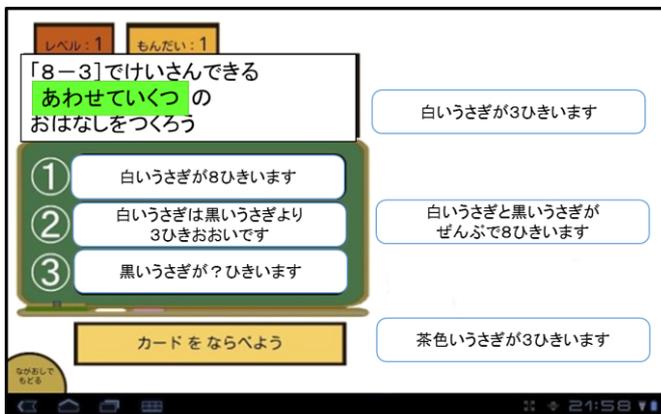


図 7 ハイライトのフィードバックイメージ図

また、間違いの回答に対するフィードバックとして、数値順序通りの考え方を持つ学習者に対しては他の制約の考慮を促すように、計算式が成り立つように考える学習者に対しては足りない他の制約の考慮を促すように視線を誘導できるように、それぞれの原因の違いに基づいたフィードバックによって、足りない制約を考慮させるためにハイライトする箇所が変わると考える。

## 6. まとめと今後の課題

本論文ではモンサクンの演習時の作問プロセスにおいて回答結果、カード操作、そして視線情報を用いることで細かく分析、思考を推定する方法を提案した。これにより、学習者の作問プロセスを細かく観察、分析しより効果的な支援を目指す。

今後の課題は、試用実験を行い、回答操作、カード操作、視線情報のログデータを取得すること、そしてログデータを参考に学習者に対する支援内容を考察、議論していくことである。

### 参考文献

- [Afif 15] Supianto, A.A., Hayashi, Y., Hirashima, T.: “Trap-States Found in Problem-Posing Activity Sequences Based on Triplet Structure Model”, 人工知能学会第 75 回先進的学習科学と工学研究会(SIG-ALST), pp. 9-16, 2015.
- [小島 14] 小島一晃, 村松慶一, 松居辰則: “多肢選択問題の回答における視線の選択肢走査の実験的検討”, 教育システム情報学会誌, Vol.31, No.2, pp. 197-202, 2014
- [村松 12] 村松慶一, 小島一晃, 松居辰則: “多肢選択問題に対する学習者の視線と心的状態に関するオントロジー記述の試み”, 第 27 回セマンティックウェブとオントロジー研究会, SIG-SWO-A1201-04, 2012
- [Nur 15] Hasanah, N., Hayashi, Y. and Hirashima, T.: “Investigation of Students' Performance in Monsakun Problem Posing Activity based on the Triplet Structure Model of Arithmetical Word Problems”, Proc. of ICCE2015, pp. 27-36, 2015
- [大野 02] 大野健彦: “視線から何が分かるか—視線測定に基づく認知処理の解明”, 認知科学, 9(4), pp. 565-579 (2002)
- [高木 00] 高木啓伸: “視線の移動パターンに基づくユーザの迷いの検出-効果的な作業支援を目指して”, 情報処理学会論文誌, Vol. 41, No. 5, pp. 1317-1327, 2000
- [VanLehn 2005] VanLehn, K. et al., The Andes Physics Tutoring System: Lessons Learned, International Journal of Artificial Intelligence in Education, 15(3), pp. 147-204, 2005.
- [山元 13] 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