

令和 5 年度

修士論文

単文統合型作問における学習者
の思考推定のための戦略ベースの
学習ログ分析に関する研究

指導教員 林 雄介 教授

広島大学大学院 博士課程前期

先進理工系科学研究科 情報科学プログラム

M224659

伊藤 大智

2024 年 2 月 21 日提出

概要

算数文章題は数学教育において重要かつ難解なトピックであり,学習者が文章の意味から数量関係を抽出し,数式で解く難しさが指摘されている [1].これを克服するため,学習支援システム「モンサクン」が提案され,単位算数文章題の構造的な理解を促進することを目的とした問題文を作る演習活動が可能になった.先行研究では,モンサクンの利用が作問能力だけでなく,問題解決能力の向上にも寄与していることが示されている.

作問学習を効果的に行うためには,学習者が演習結果に応じて理解を修正する活動を行うことが必要である.結果に応じて理解を修正することができるようにするためには,学習者の理解や思考を知ることが望ましい.先行研究では,実験的利用のログデータ分析から,構造的な理解が不十分な学習者がランダムに単文を組み合わせてしまい,正解するまでに多くのステップ数を要してしまう学習者が見られた.このような学習者は自分の間違いの原因を認識しつつ,作問方法を変えながら学習を行うことで,算数文章題の理解を深める必要があり,モンサクンのような探索的に行う演習においては特に重要であるといえる.学習者が作問演習結果に応じて理解を修正するための活動を支援するためには,学習者の理解や思考を知る必要がある.

本研究は,単文統合型作問における学習者の誤り修正の支援の高度化のために,誤りとその元となる思考のより具体的な関係性を明らかにする目的で行われる.そのために,モンサクンにおける思考を,何を基準に基づいているかという作問戦略として定義し,それに基づいてログデータを分析する手法を取る.

本研究の妥当性を評価するため,最終的に作問の戦略によるログデータの分析として,答え合わせ回数との比較を行い,実際の演習パフォーマンスの良し悪しを比較した.試験的に大学生がモンサクンを利用した際のログデータを使用して分析を行った.

今回のログデータは3つのレベルで構成されている.レベルが上がるほど難易度の高い問題になっており,特にレベル3は問題構造を理解していないと解けない問題になっている.

合併の作問課題は,関係文を意識して作問するのが必須ではあるが,式順戦略や物語順戦略も付随して意識して作問しないと演習パフォーマンスはよくなるらない.

また,増加の作問課題では,関係文開始戦略を利用しているが,物語順戦略の意識が低い学習者が,演習パフォーマンスがよくないことがわかった.レベル1で式順戦略を醸成してしまう可能性がある.今回の分析結果では,物語と関係文に注目している学習者ではなく,物語のみに注目している学習者のほうが演習パフォーマンスの良い結果になった.

分析の結果,それぞれの作問課題でパフォーマンスの良い学習者,悪い学習者がどのような思考をしているか考察できるデータが得られた.

目次

概要	i
目次	ii
図表目次.....	iii
第1章 はじめに.....	4
第2章 背景.....	5
2.1 算数文章題.....	5
2.1.1 算数文章題の構造的理解.....	5
2.1.2 算数文章題解決の困難.....	5
2.1.3 算数文章題の構造.....	6
2.2 作問学習.....	7
2.3 単文統合型作問学習支援システム「モンサクン」.....	8
2.4 作問学習演習活動における振り返り学習.....	9
第3章 学習者の思考推定のための戦略ベースの学習ログ分析に関する研究.....	11
3.1 研究目的.....	11
3.1.1 学習者の理解や思考を把握する技術の開発.....	11
3.1.2 モンサクンの演習ログを分析することによる思考推定.....	11
3.2 研究手法.....	12
3.2.1 作問戦略としての作問方法の分類.....	12
3.2.2 作問戦略による学習者の思考の推定.....	14
第4章 作問戦略によるログデータの分析.....	15
4.1 分析方法.....	15
4.2 分析対象のデータ.....	16
4.3 分析結果.....	16
4.3.1 合併作問課題.....	17
4.3.2 増加作問課題.....	19
4.3.3 減少作問課題.....	21
4.3.4 比較作問課題.....	25
第5章 まとめ・今後の課題.....	27
第6章 引用文献.....	28
第7章 謝辞.....	29
付録	30

図表目次

図 1 三文構成モデル	7
図 2 モンサクンのインターフェース	9
図 3 モンサクン演習時のパフォーマンスの違い	10
図 4 ログを分析することによる理解の違いの推定からパフォーマンスの違いの説明	11
図 5 モンサクンによる作問演習時に注目すべき情報による戦略の定義.....	12
図 6 関係文開始戦略.....	13
図 7 物語順戦略	13
図 8 式戦略.....	14
図 9 最初の答え合わせに戦略を定義することによる理解の推定.....	15
図 10 合併の作問課題で各クラスターの戦略の分布.....	18
図 11 合併のレベル 3 における各クラスターの答え合わせ回数の推移	18
図 12 増加の作問課題の各クラスターの戦略分布	20
図 13 増加の作問課題において各クラスターの答え合わせ回数の分布	20
図 14 減少の作問課題における各クラスターの戦略の分布.....	22
図 15 減少の作問課題のレベル 3 の各クラスターの答え合わせ回数の推移.....	23
図 16 減少レベル 3 の各戦略の分布	24
図 17 比較の作問課題における各クラスターの戦略の分布.....	25
図 18 比較のレベル 3 における各クラスターの答え合わせ回数の推移	26
表 1 算数文章題の物語	7
表 2 大学生が利用したモンサクンの作問課題の構成.....	16
表 3 合併の作問課題の戦略と答え合わせ回数の検定結果 (H…優位に高い, L…優位に 低い, M…有意差なし)	19
表 4 増加の作問課題の戦略とパフォーマンスの有意差	21
表 5 減少の各クラスターの検定の有意差	24
表 6 比較の作問課題の検定の有意差	26
表 7 合併の作問課題における各クラスターの答え合わせ回数の分散分析結果.....	30
表 8 減少の作問課題の各クラスターの答え合わせ回数の分散分析結果.....	30
表 9 増加の作問課題の各クラスターの答え合わせ回数の分散分析結果.....	30
表 10 比較の作問課題の各クラスターの答え合わせ回数の分散分析結果.....	30

第1章 はじめに

算数文章問題は算数・数学教育において重要なトピックであり,最も難しいトピックの一つであると言える [1].算数文章問題は,文章の意味から数量関係を抽出し,それを数式で表して解く問題であるが,このような考え方は難しいと感じる学習者が多い.算数文章題の意味を考えた構造的な理解をすることが算数・数学教育 [2]の重要な目的の一つである.算数文章題の学習は,現実世界の中で問題を見だし,それを数学的に解決し,筋道立てて説明できる力を育成することにもつながる [3].現実世界の問題を数学的に解決するためには,その問題で対象とする状況に含まれる数量関係を数学的に記述できるように解釈する必要がある.その解釈を筋道立てて説明するためには,各数量とその関係の意味を明示化する必要がある.ここでは,算数文章題の問題文に含まれる各数量とその関係の意味を理解することを算数文章題の構造的な理解とよぶ.

算数文章題の構造的な理解を促す学習支援システムとして「モンサクン」 [4] [5]が提案されている.これは一回の演算で解を求めることができる単位算数文章題を対象として,与えられた単文を組み合わせることを通じて,そこに生じる数量関係として算数文章題の構造を把握させることを目的としている.モンサクンでは正解が一意に決まる単位算数文章題の作問を対象としている.

先行研究では,モンサクン利用時の学習効果が示されている [4].この研究では,モンサクンの授業利用の結果を示しており,作問能力の向上だけでなく,問題解決能力の向上が示されている.

現在,作問学習支援において課題であるのは,学習者の理解に合わせて指導をするのが難しく,その原因は,学習者がどのような考え方をして間違えているかが把握できないためである.

本研究は背景の課題を解決するため,学習者の作問過程から把握できるようにする.そして,考え方とパフォーマンスの関係を知る.

学習者のとりうる作問方法を定義し,学習者の作問ログに適用してデータを意味づけする.クラスターで考えている人を分類する.クラスターと戦略による考え方の特徴づけ,クラスターとステップ数でパフォーマンスを見てそれぞれの関係を見る.その結果,それぞれの作問課題でパフォーマンスの良い学習者,悪い学習者がどのような思考をしているか考察できるデータが得られた.

本論文では,まず第2章で,研究背景である算数文章題の構造的理解の重要性及びその解決,モンサクンにおける振り返り学習の重要性について述べる.第3章では本研究の目的として,学習者支援の高度化のための分析手法を提案することを示す.第4章では試験的に大学生が行ったモンサクンの演習データを用いて研究手法を適用し,学習者のパフォーマンスと合わせた分析結果を報告する.第5章では,本研究の総括と今後の課題について述べる.

第2章 背景

本章では、算数文章題の構造的な理解の重要性と教育環境における実施困難性、それを解決する目的で開発された単文統合型作問演習支援システム「モンサクン」の概要、及びその演習によって判明した学習者の演習の違いとその支援について説明する。

2.1 算数文章題

2.1.1 算数文章題の構造的な理解

問題の解決には、学習者が問題を構造的に理解することが必要であると指摘されている。
[2]小学校の算数科の学習指導要領解説に以下のように記されている。

「もしも、意味の理解を伴わないままに、例えば計算の仕方を機械的に暗記させたり、計算を形式的に処理させたりすることのみに力を入れるような指導を行えば、知識や技能のもつ価値は半減してしまうことになる。計算の意味を理解し目的に応じて用いることができるように指導することが必要である。」 [6] [7]

算数を学ぶ上では、短絡的に計算方法や手法を暗記して解くのではなく、それらの意味を理解したうえで問題解決を行うことが必要であると述べられている。算数文章題を対象とした場合には、学習者は単に立式方法や解法を学ぶのではなく、算数文章題の構造を理解し、問題文中の数量関係を把握したうえで正しい式を組み立てて答えを導き出すことが必要である。

2.1.2 算数文章題解決の困難

算数文章題を解決するには言語表現である問題文から数式表現である式へと変換していく必要がある。しかし数量関係の理解が不十分である学習者は正しく数量を取り出し式へと変換することが困難である。実際多くの学習者が算数文章題の解決は難しいと感じている。例えば「さいしょに子どもが3人あそんでいます。途中、子どもが何人か来たため、さいごには子どもは5人であそんでいました。」という文章題を想定する。この問題において物語順に沿って式を作ると $3 + ? = 5$ となる。また求めたい数量を求める式を考えると $5 - 3 = ?$ となる。この問題での典型的な間違いの例としては、問題文中に現れる二つ数量を登場順に並べ、演算子を連想させる言葉から演算子を決定してしまうことがある。この思考によって求められる式は「」であり、正しく式へ変換することができない。このように算数文章題の解決では問題構造を理解し、数量関係を正しく把握する必要があるため、困難であるとされる。

2.1.3 算数文章題の構造

1 回の二項演算で計算可能な算数文章題は3つの数量を表す概念で表現される。ここでは、これら3つの数量を表す概念を数量概念と呼ぶ。算数文章題はこの3つの数量概念の組み合わせを基本的な構造としており、3つの数量概念のそれぞれを1つの文章で表したものが三文構成モデルである。三文構成モデルは、ある数量の存在を表す「存在文」2つと、その2つの数量の関係を表す「関係文」1つの、3つの文により構成される。

算数文章題には問題の背景となる「物語」が存在しており、物語は「加算、減算、乗算、除算」に分類される。本研究で扱う物語は加算と減算であり、加算は「合併、増加」、減算は「減少、比較」に分けられる。物語が含んでいる数量関係によって関係式が決められ、特に和差算数文章題においては、関係文によって物語の種類が決定される。関係文は各物語に特有な文であるが、存在文は四則演算の全てに共通するものである。例えば、「りんごが3個あります。みかんが2個あります。りんごとみかんが合わせて5個あります。」のような合併物語は、“ $3 + 2 = 5$ ”つまり“第一部分存在量 + 第二部分存在量 = 合併量”という数量関係を表わしている。ここで、「りんごが3個あります。」という存在文は合併における第一部分存在量を、「みかんが2個あります」という存在文は第二部分存在量、「りんごとみかんをあわせて5個あります」という関係文は合併量の意味をそれぞれ表わすものとなる。三文構成モデルにより、1つの物語は3つの数量概念から構成されることが分かるが、算数文章題においては3つの数量概念のうちの1つを未知としている。算数文章題においては、数量が既知である存在文と関係文から、未知である増加後の数量を問う問題が成立する。2つの数量が既知である場合、未知の数量を既知の数量から求める問題が作られるため、3つの求答式を作ることができる。

また二項演算の算数文章題は、大きく順思考問題と逆思考問題に分けることができる。順思考問題とは物語順に沿った形で作られた式、つまり増加後の数量が未知な問題であり、逆思考問題とは増加前や増加分の数量が未知な問題のことである。一般的に順思考問題に比べ、逆思考問題の方が困難であることが知られており、このことは、算数文章題の正答率からも示されている [2]。

表 1 算数文章題の物語

物語の種類	物語
合併	「合わせていくつ」
増加	「増えるといくつ」
減少	「残りはいくつ」
比較	「違いはいくつ」

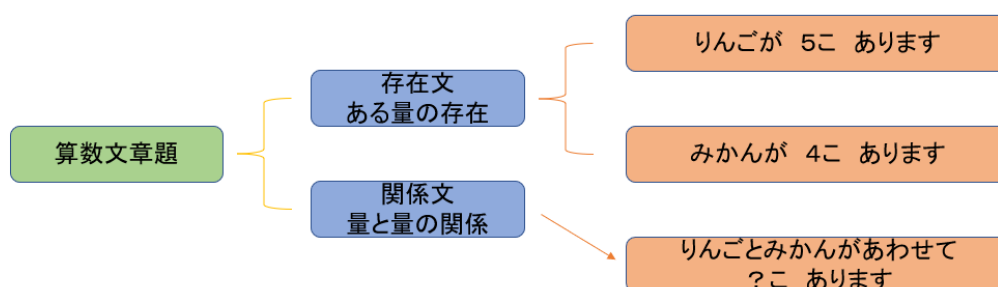


図 1 三文構成モデル

2.2 作問学習

前項で述べた算数文章題の構造理解の困難を解決する手段として、作問学習がある。作問学習とは、問題を解くことでなく作ることによる課題である。例えば、「りんごが 5 こ、みかんが 3 こあります。合わせていくつでしょう」という算数文章題を解くことは、この文章から $5+3$ という式を導き、それを計算して 8 という数値を求め、結果として、りんごとみかんが合わせて 8 個あると解釈することである。一方、問題を作るということとは、りんごが 5 こ、みかんが 3 こあります。合わせていくつでしょう」という文章を作ることになる。

作問学習は、問題解決能力の向上、数学の理解の洗練に効果があるといわれている [3]。前述のように、算数文章題を解くには単純で分かりやすいが間違いを起こしやすい戦略がある一方で、問題を作成するためには問題の構造を理解し、それを考える必要があるためである。

しかし、普通の授業で実施をすることは困難とされてきた。算数文章題を解くことは、分析的問題の一種であり、基本的には一意に式が決定され、それによって一意に解が見つかる。一

方で、算数文章題を作成することは合成的課題であり、ある要件を満たす算数文章題は無数に作成できる。そのため、学習者にとっては自由度が高すぎて、考える方針が立てにくいために負荷が高い。教師にとっても、学習者が多様な問題を作成できるため、一つ一つの作成された問題を評価せねばならず、間違いも多種多様となるため負荷が高い。

2.3 単文統合型作問学習支援システム「モンサクン」

前節にも述べたように、作問学習は教育的な有効性が認められているが、実際の教育現場では、教授者に大きな負担がかかるために十分な時間を使っての実施が困難とされてきた。

そこで、このような問題を解決し、算数文章題の作問学習を可能にするシステムが単文統合型作問学習支援システム「モンサクン」である。

モンサクンでは、3つの単文カードを並び替えて作問学習を行っていき、即時診断・フィードバックを返すシステムである。

モンサクンは、二項演算の算数文章題を対象としており、前項で述べた三文構成モデルというもので、算数文章題をモデル化して扱っている。モンサクンにおける作問演習形式である単文統合型というのは、学習者が自由に文章を形成する方法ではなく、予め用意された単文の選択と組み合わせを行い、要求される条件を満たす算数の文章題を作る演習形式である。このような作問演習形式を採用することで、短時間に数多くの作問活動を行うことが可能になり、学校の授業においても十分な作業量を確保することが可能になった。また、モンサクンによる作問学習では、システム側での作問学習では、自動診断や、診断結果によるフィードバックを即時的に返すことが可能であり、従来作問学習が抱えていた、個々人が作成する多様な算数文章題に対して診断しなければならないという困難を解消することが実現した。モンサクンで提示される課題は、学習者に文章題の計算式と物語、それを組み立てるための6つの単文カードを提供する。学習者は要求された条件を満たすように3つの単文カードを選択し、画面左に配置された空欄に当てはめることで正誤判定を行うことができる。この正誤判定は即時的に行われ、不正解の場合、学習者は何が不正解か都度知ることができるシステムとなっている（図2）。

モンサクンを用いた演習は小学校や中学校など、実際の教育現場において多くの実践的利用が行われており、単文統合型の作問が実施可能であること及び算数文章題の構造的な理解に有用であることが確認されている [7] [8]。

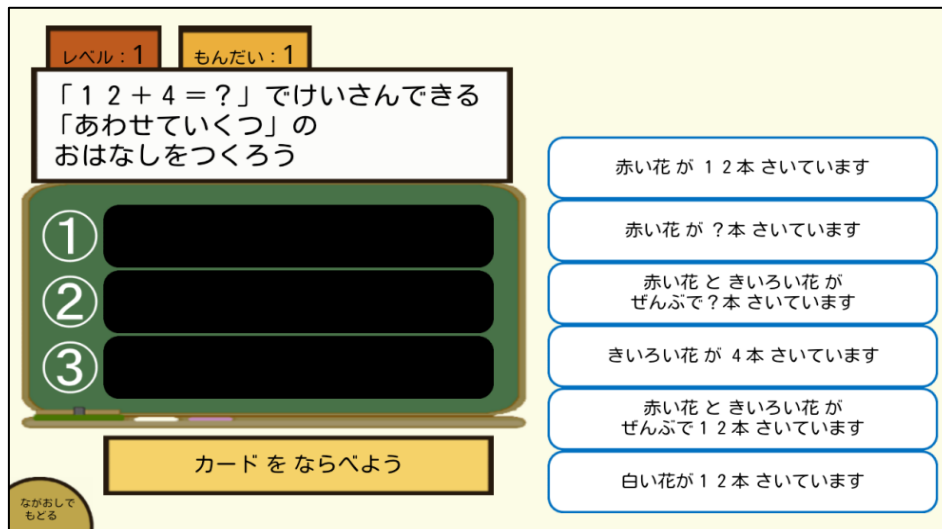


図 2 モンサクンのインターフェース

2.4 作問学習演習活動における振り返り学習

先行研究においてモンサクンの有効性が示されてきたが、実践的利用のログデータ分析から、スムーズに演習を進める学習者とそうでない学習者が見られた。図 3 に示すように、赤色の折れ線グラフで示された学習者は 1 問目の作問課題では多く間違っているが、黄色の折れ線グラフで示された学習者は 1,2 問目以降も多くの作問課題で間違えている。このような学習者は自分の間違いの原因を認識しつつ、作問方法を変えながら学習を行うことで、算数文章題の理解を深める必要があり、モンサクンのような探索的に行う演習においては特に重要であると言える。

一つ目の作問課題で多く間違っているが、
二つ目以降作問課題では上手く作問できた

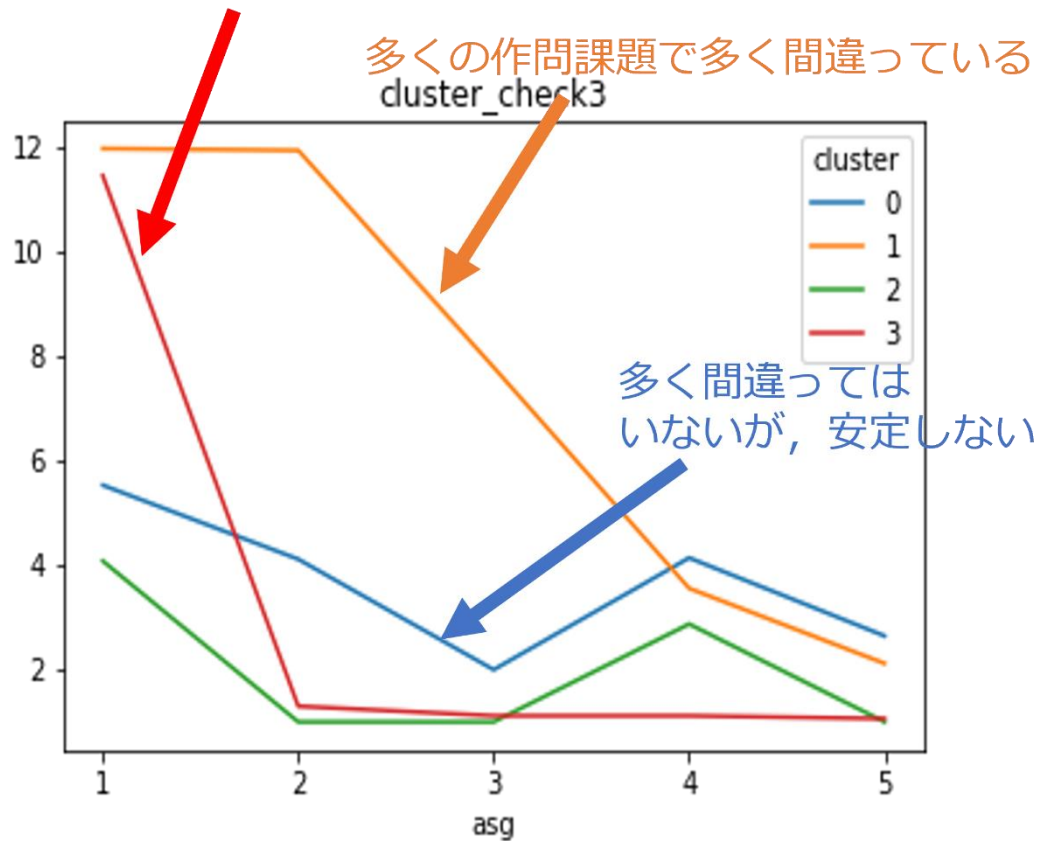


図 3 モンサクン演習時のパフォーマンスの違い

モンサクンでは,算数文章題の構造的理解を目的とした作問学習支援の一環としての,実際の教育現場で効率的に作問学習を行うことを支援してきた.作問学習においても一つ重要な部分である,自らを振り返りながら演習を行う活動を支援するためには,学習者の理解や思考を知り,それに応じて個人ベースで支援する必要があるが,先行研究では学習者の理解や思考を把握するシステムは確立されていない.

本研究では,作問学習のもう一つの側面である演習における振り返り学習を支援する目的で,学習者の理解や思考を把握するための研究を行う.

第3章 学習者の思考推定のための戦略ベースの学習ログ分析に関する研究

3.1 研究目的

3.1.1 学習者の理解や思考を把握する技術の開発.

前章より,モンサクンを用いた演習は,実際の教育現場において多くの実践的な運用が行われ,その有効性が示されてきた.現在の課題は学習者の演習結果に応じて理解を修正する活動を促進するための,学習者の理解や思考を把握することが出来ていないことである.

そのため,本研究では,単文統合型作問における学習者の誤り修正の支援の高度化のために,誤りとその元となる思考のより具体的な関係性を明らかにする.

3.1.2 モンサクンの演習ログを分析することによる思考推定

学習者は各自の理解に基づいて思考してモンサクン演習を行っている.また,その思考はどのように作問していくかに反映されていると考える.さらに,どのように作問したかについてはモンサクンの演習ログに記録されている.

そのため,本研究は,学習者のモンサクンの演習ログを,学習者の思考を推定する目的で行われる.

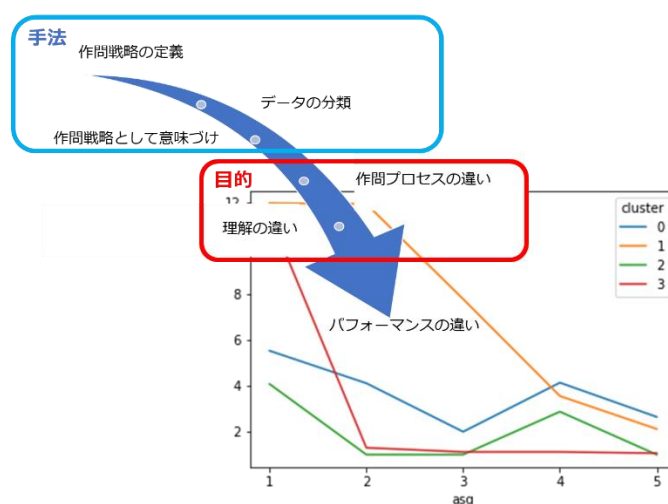


図 4 ログを分析することによる理解の違いの推定からパフォーマンスの違いの説明

3.2 研究手法

本研究では、学習者がどのようにしたら正しく作問できると考えているかという意味での学習者の思考を、学習ログを分析することで推定を行う。

3.2.1 作問戦略としての作問方法の分類

モンサクンの作問は、そのときの学習者の理解に基づいて行われる。そのため、作問方法を分類できれば、その対応として学習者の理解を分類できる。よって、本研究ではモンサクンのベースとなっている単文統合型作問の仕組みから作問方法を原理的に分類する。

モンサクンでは提供された単文を使用して式と物語種類の要求を満たす算数文章題を作成する演習が行われる。この作問が行われるときに学習者が注目すべき情報をもとに戦略を定義する（図 5）。

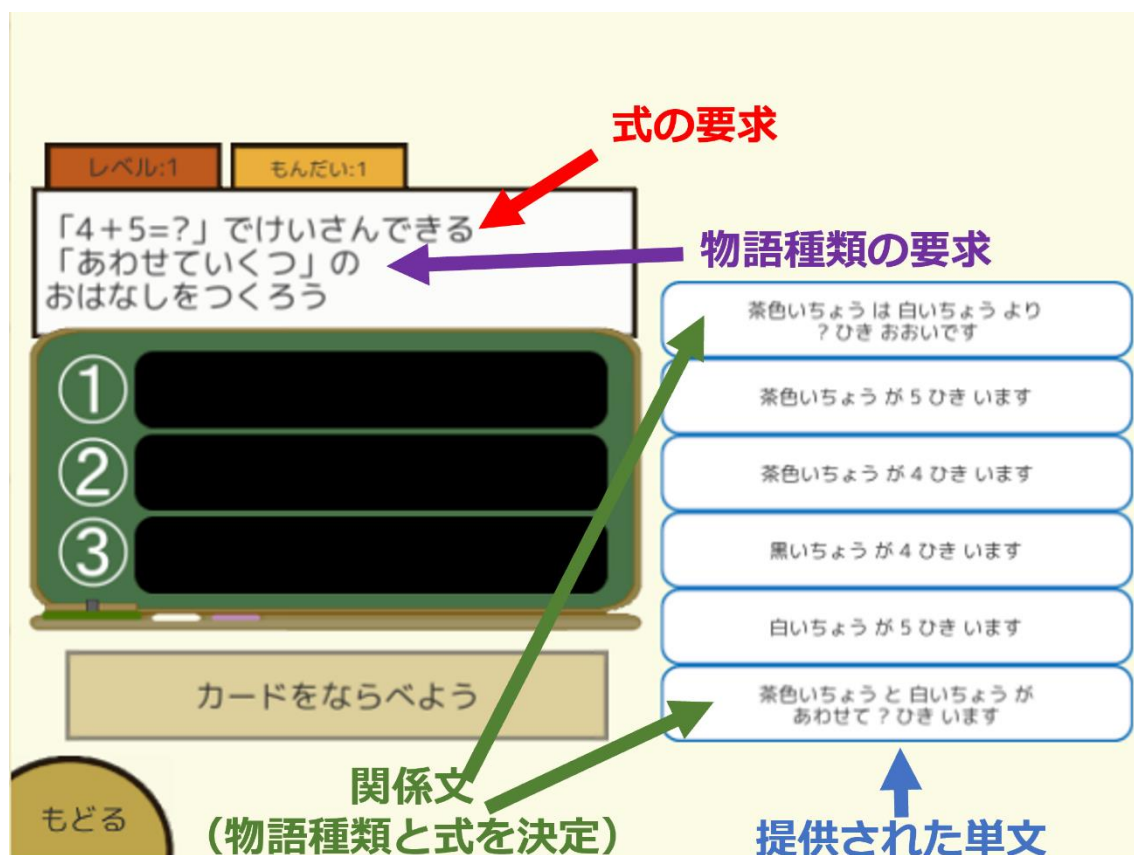


図 5 モンサクンによる作問演習時に注目すべき情報による戦略の定義

まず、作問課題で要求された式に注目している作問方法として「式順戦略」を定義する。式順戦略は、与えられた作問課題に含まれている数量を、単文中から順番に選択している作問方法となる。これは、与えられた作問課題中にある文章から短絡的にカードを選択し四則演算を考える作問方法であるため、算数文章題の意味構造を考えない作問方法であるといえる。

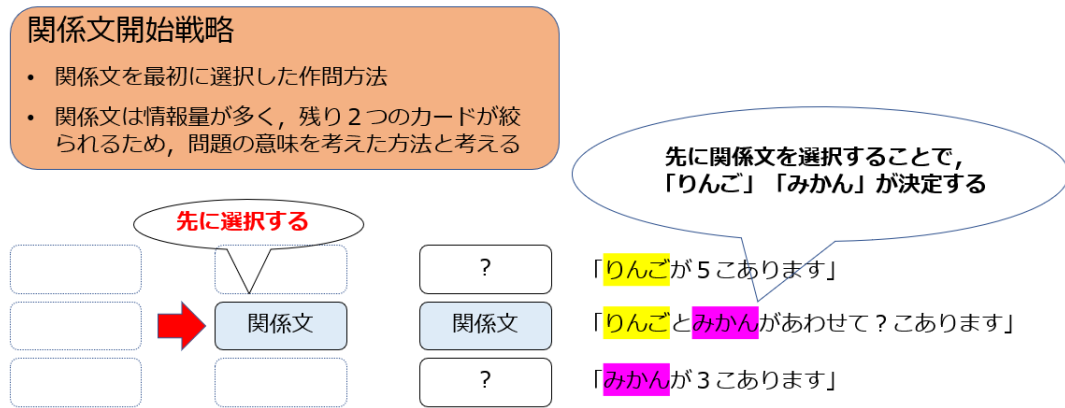


図 6 関係文開始戦略

次に、選択肢として提供されている単文中にある、物語種類と式を決定する単文である関係文に注目している戦略として、「関係文開始戦略」を定義する。「関係文開始戦略」は、単文カードから関係文を先に選択した作問方法を指す。これはカードを並べる際、一番上のカードが関係文になるものではなく、カードの順序に関係なく、関係文を先に選択した作問方法を「関係文開始戦略」として定義する。

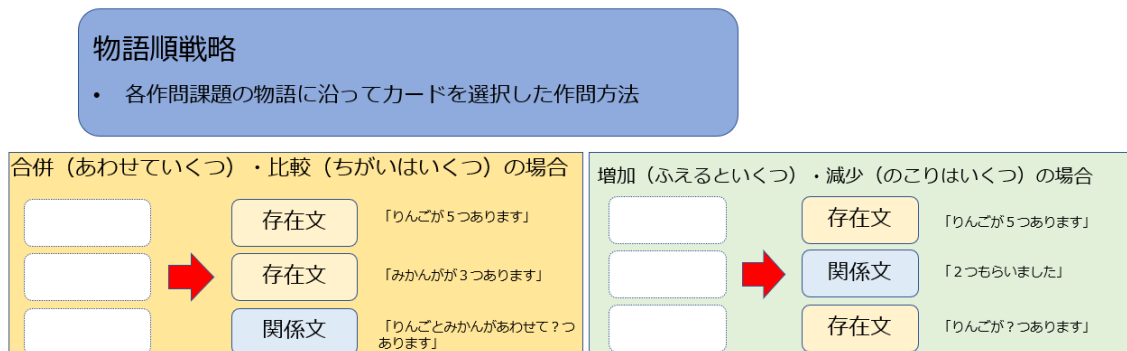


図 7 物語順戦略

最後に、作問課題で要求された物語に注目している作問方法を「物語順戦略」と定義する。「物語順戦略」は、作問課題の物語に合わせて順番に単文カードを選択している作問方法を指す。たとえば、合併・比較の作問課題であれば、「りんごが2つありました」「みかんが3つありました」「りんごとみかんがあわせて?つありました」の順序で物語が成立するため、「存在文」「存在文」「関係文優先」の順序で並べられた作問方法を「物語順戦略」として判定する。また、増加・減少の作問課題であれば、「りんごが2つあります」「3つもらいました」「りんごが?つあります」のように「存在文」「関係文」「存在文」の順序でカードが選択されている作問方法であれば「物語順戦略」と判定する。

作問過程が示されたログデータに定義した戦略を適用することでデータの意味づけを行う。

式順戦略

- 作問課題の数量に一致するカードを順に並べただけの作問方法
- 問題の意味を考えていない戦略

「 $6+1=?$ 」でけいさんできる「あわせていくつ」のおはなしをつくろう
ふうとうが 6 つあります

カードが 1 つあります

ふうとうとカードがあわせて $?$ つあります

図 8 式戦略

3.2.2 作問戦略による学習者の思考の推定

上記の手法により、モンサクンで得られたログデータに対して作問戦略で意味づけを行う。学習者のログから作問戦略によって意味づけを行い、その学習者の作問パフォーマンスとの対応付けを行う。この分析により、学習者が行っている作問戦略とパフォーマンスの関係から、学習者の思考、またはその元となる理解とパフォーマンスとの関係を推定することができる。

第4章 作問戦略によるログデータの分析

本研究の妥当性を評価するために、戦略を適用した演習ログデータを、各レベルでクラスター分析をして類似している人を分類する。クラスターと戦略による考え方の特徴づけ、クラスターと答え合わせ回数でパフォーマンスを見てそれぞれの関係を説明出来ないか分析する。

4.1 分析方法

試験的に大学生が利用した際のログデータを作問戦略でコード化し、学習者のパフォーマンスと合わせて分析する。

戦略は各作問課題の最初の回答のみをコード化の対象としている。図 9 の上段の図のように、モンサクンは正解するまで演習を取り組む方式で進めるシステムである。そのため、学習者はモンサクンの演習を進めていくに従って、モンサクンのフィードバックによる誤りの通知を受け取った際に算数文章題の作問に対する理解が変化していくと考えられる。図 9 の中段の段階の演習では、上段の作問演習で変化した理解に影響されて最初の作問が行われる。つまり、理解の変化は正解するまでの取り組みに影響されて引き起こされるものと考えられる。ゆえに、各作問課題の最初の答え合わせまでの作問プロセスはそれまで取り組んできた作問課題によって得られた理解によって行われるものと考えられる。よって、最初の答え合わせまでの作問プロセスを戦略で分析すると、その時学習者がどのような戦略が良いと考えているかという意味での理解を推定できると考え、コード化は各作問課題の最初の回答のみを対象とする。

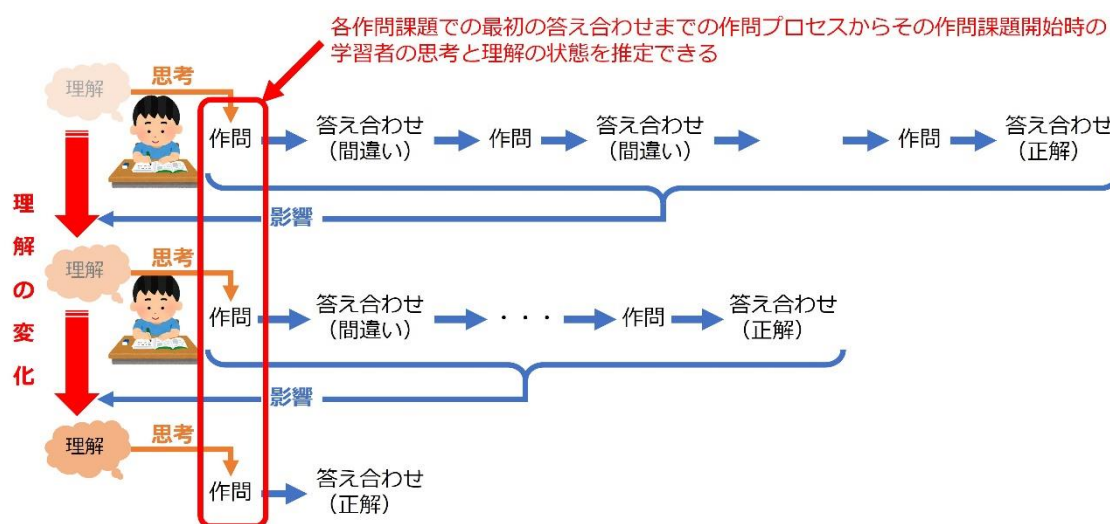


図 9 最初の答え合わせに戦略を定義することによる理解の推定

4.2 分析対象のデータ

分析対象として,大学生が利用したモンサクンの演習データを使用する.この演習は大学1年生向けのプログラミングの授業の中で論理的思考に関する演習の一部として,4種類の物語種類ごとに4週に渡って利用されたものである.

演習で利用された作問課題は表2に示す形式で提供された.作問課題はレベルが上がるほど難易度の高いものになっており,特にレベル3は,減少と増加の作問課題において,式順戦略のみに注目していて,意味的に物語を考えていないと正解出来ない作問課題となっている.なお,合併の作問課題は,例外的に式順戦略でも正解になる作問課題となっている.

表2 大学生が利用したモンサクンの作問課題の構成

レベル	種類	提供式	例	関係文	式順	物語順
1	順思考	物語式	「 $5 + 3 = ?$ 」で解ける「増えるといくつの」問題」	○	○	○
2	逆思考	物語式	「 $5 + ? = 8$ 」で解ける「増えるといくつの」問題」	○	○	○
3	逆思考	計算式	「 $8 - 3$ 」で計算できる「増えるといくつの」問題」	○	× (ただし,合併は除く)	○

4.3 分析結果

戦略の分布と演習パフォーマンスの各クラスターの特徴(どのような戦略の流れで作問を進めているのか)と演習のパフォーマンスを比較して,どの戦略が重要なのが検出できた.

今回のログデータは3つのレベルからなっている.レベルが上がるほど難易度の高い問題になっており,特にレベル3は問題構造を理解していないと解けない問題になっている.

4.3.1 合併作問課題

ここで表 3 を参考にして頂きたい。この表で演習されたのは、合併（「合わせていくつ」）の問題をつくる課題である。列の F,S,R がそれぞれ「式順戦略」、「物語戦略」、「関係文開始戦略」となっている。図 10 合併の作問課題で各クラスターの戦略の分布に対して多重比較検定を行い、有意差が出た部分を表 3 の F,S,R 列に示している。各クラスターに対して戦略の出現度数が、優位に高い部分を H、優位に低い部分を L、有意差が見られなかった部分を M としている。また、表 3 の Score 列は「図 11 合併のレベル 3 における各クラスターの答え合わせ回数」に対して分散分析を行い、有意差が見られた部分を表で示している。H は成績が良い、L は成績が悪い、M は成績に有意差が見られなかった部分である。

ここで、表 3 の戦略の出現度数に着目して各クラスターの特徴を述べると、クラスター 0 は式順戦略と関係文開始戦略を採って作問している学習者の集まりであることがわかる。同様に、クラスター 1 は物語順戦略、クラスター 2 は関係文開始戦略のみ、クラスター 3 は物語順戦略、関係文開始戦略を採用している学習者の集まりであることが言える。

表 3 の score に注目して、各クラスターに対する答え合わせ回数に基づいてパフォーマンスの良し悪しを判断すると、クラスター 0,3 が成績の良いクラスター、クラスター 1,2 は成績が良くないクラスターであると判断できる。

以上より推測できるのは、成績が良いクラスター（クラスター 0,3）に共通することは、関係文開始戦略の他に別の戦略を使用していることである。合併の作問課題は与えられた作問課題に使用されている数字の順番で並べると、数値は正しい作問になる。たとえば、「5-3」で計算できる「合わせていくつ」のおはなしをつくろう」という作問課題がある。正解の単文カードは「赤い花が 3 本さいています」「黄色い花が？本さいています」「赤い花と黄色い花が合わせて 5 本さいています」を選択すれば正しい作問になるが、カードの中の数字を見て選択しても、正しい作問ができたことになる。

あとは関係文に書かれている「合わせて○あります」の単文を正しく選択している人が、正しく作問できたことになっていると考えられる。これは、合併の作問課題が式戦略で作問できる課題であるからだと考えられる。

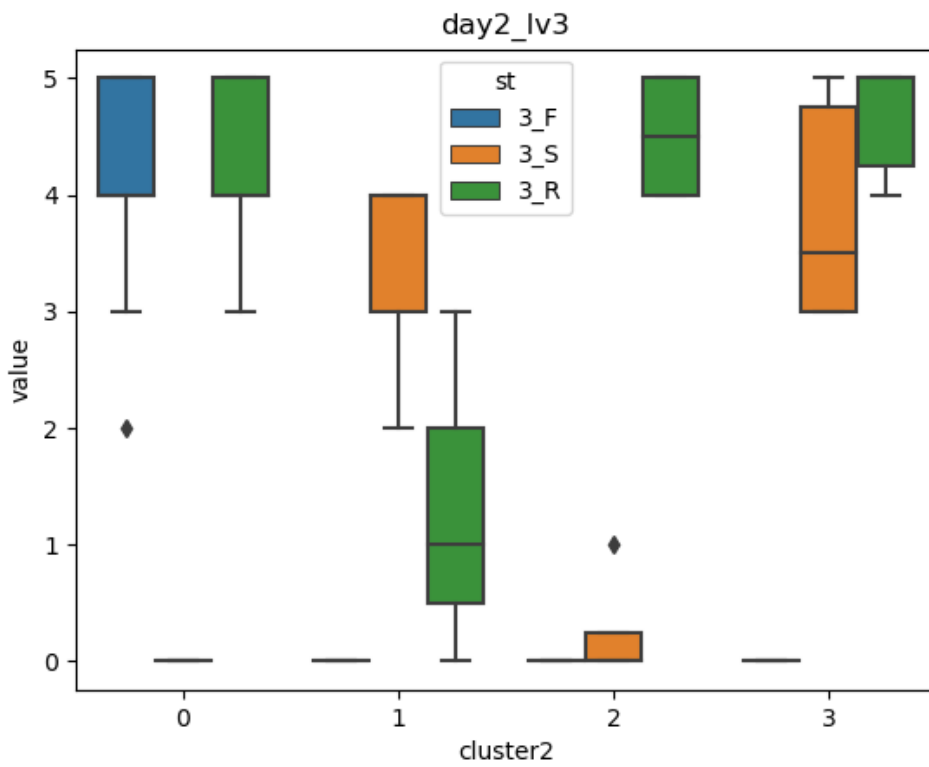


図 10 合併の作問課題で各クラスターの戦略の分布

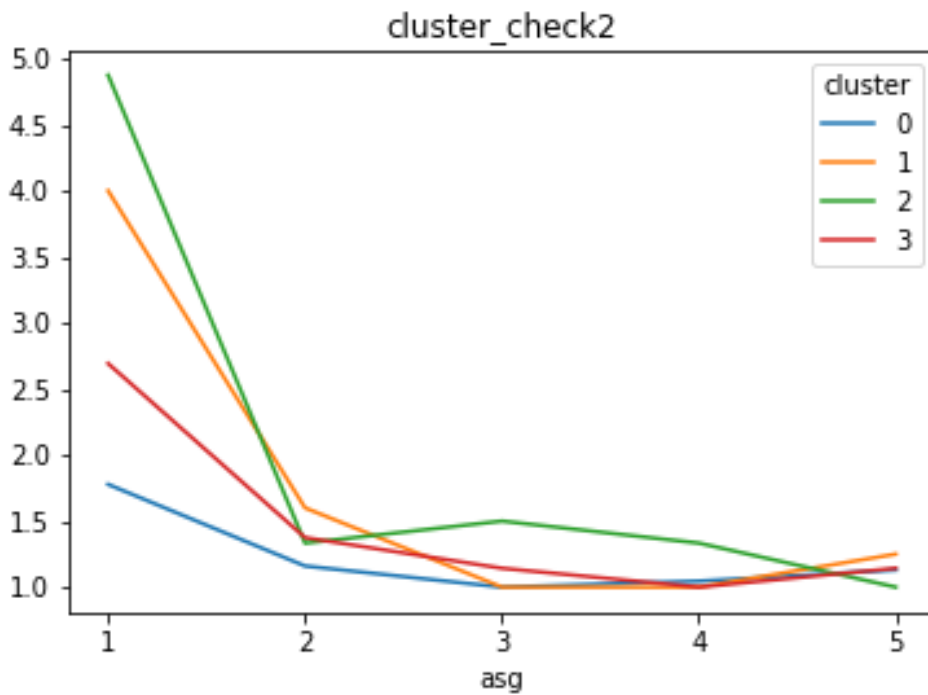


図 11 合併のレベル3における各クラスターの答え合わせ回数の推移

表 3 合併の作問課題の戦略と答え合わせ回数の検定結果 (H…優位に高い,L…優位に低い,M…有意差なし)

Cluster	F	S	R	Score
0	H	L	H	H
1	L	H	L	L
2	L	L	H	L
3	L	H	H	H

4.3.2 増加作問課題

一方,増加の作問課題は,表 4 に注目すると,クラスター0,2 は成績が悪く,クラスター0 は物語順戦略が優位に低く,算数文章題の物語が理解出来ていない.また,クラスター2 は物語順戦略と関係文戦略が優位に高い結果となっている.問題の構造上,式順戦略をとった学習者は間違えてしまう.ただし今回の分析結果では,関係文戦略と物語順戦略を併用して作問しているクラスター2 は演習パフォーマンスが悪く,純粋な式順戦略を使用しているクラスター1 が演習パフォーマンスがよい結果になった.

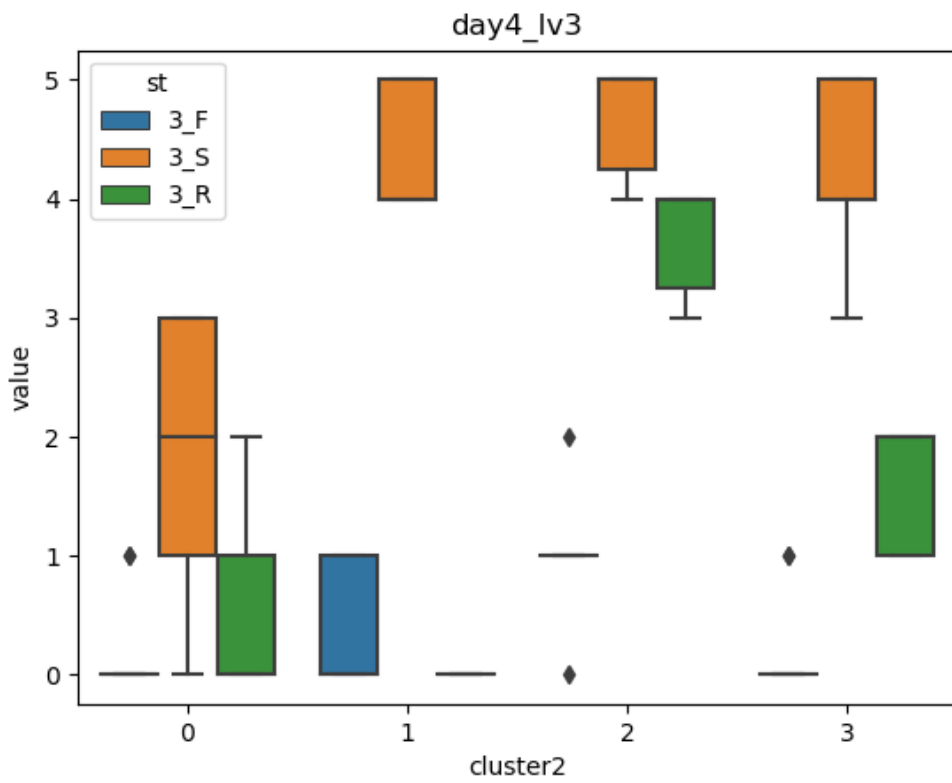


図 12 増加の作問課題の各クラスターの戦略分布

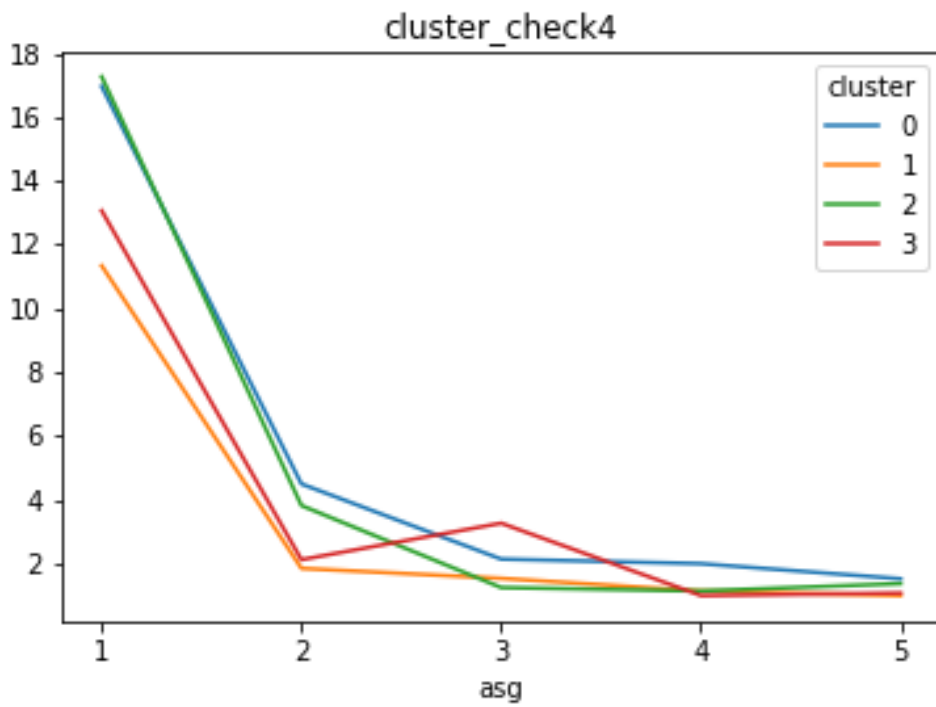


図 13 増加の作問課題において各クラスターの答え合わせ回数の分布

表 4 増加の作問課題の戦略とパフォーマンスの有意差

Cluster	F	S	R	Score
0	M	L	L	L
1	M	H	L	H
2	M	H	H	L
3	M	H	M	H

4.3.3 減少作問課題

学習者のパフォーマンスを作問プロセスにおいて利用していた戦略で説明することができを確認する.減少のレベル3では,それまでのレベル1,2の作問課題とは異なり,式順戦略で作問を行っても正解出来ない作問課題となっているため,問題構造を考えて物語の形式に注目して作問しないと正解できない作問課題となっている.減少の作問課題において,レベル3の作問課題では以下のクラスターに分けることが出来,戦略の分布としての特徴が得られた(図14).ここで,図14と,同物語の作問課題におけるレベル3におけるの答え合わせ回数の推移(図15),それぞれのクラスター1に注目して頂きたい.図14に示すように,クラスター1は他のクラスターと比較して,どの戦略もあまり使うことができていない学習者群となっている.実際に表5を参照すると,クラスター1は物語順戦略,関係文開始戦略の度数が優位に少ない.図15の演習パフォーマンスを見ると,他のクラスターと比較して多くの作問課題で答え合わせ回数が多くなっている.つまり,演習パフォーマンスとして多くの作問課題で多く間違えてしまう結果になった原因として,モンサクンを演習する過程において,式,物語,関係文のどれもあまり注目せず作問していることが挙げられると考察できる.ただし,レベル1,2で通用していた式順戦略を,レベル3では避けていることが図14より推察できるため,レベル3を演習するうえで,何をしてはいけないかは学習できているのではと考察する.それを裏付けるように,クラスター1のレベル3における作問課題ごとの戦略の分布(図16)に注目すると,式順戦略は1問目以降使用されなくなっている.

対照的に,クラスター3は物語順戦略を多く使用している学習者群である(図14)このクラスターのパフォーマンスに注目すると(図13),1問目の作問課題では多く間違っている

が,2 問目の作問課題では答え合わせ回数を増やすことなく作問できていることがわかる.また,クラスター0 の戦略を使っているが,頻度が少ない学習者群は (図 14),多く間違えて演習しているわけではないが,4 問目で答え合わせ回数が増加しているなど,安定しない演習パフォーマンスとなっている (図 15).

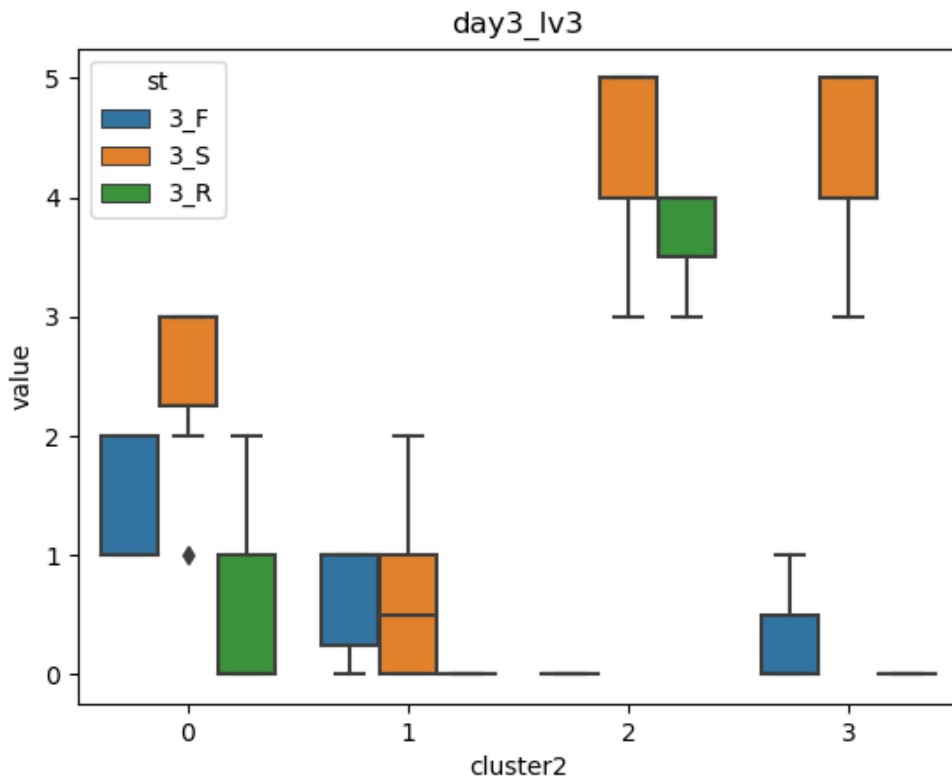


図 14 減少の作問課題における各クラスターの戦略の分布

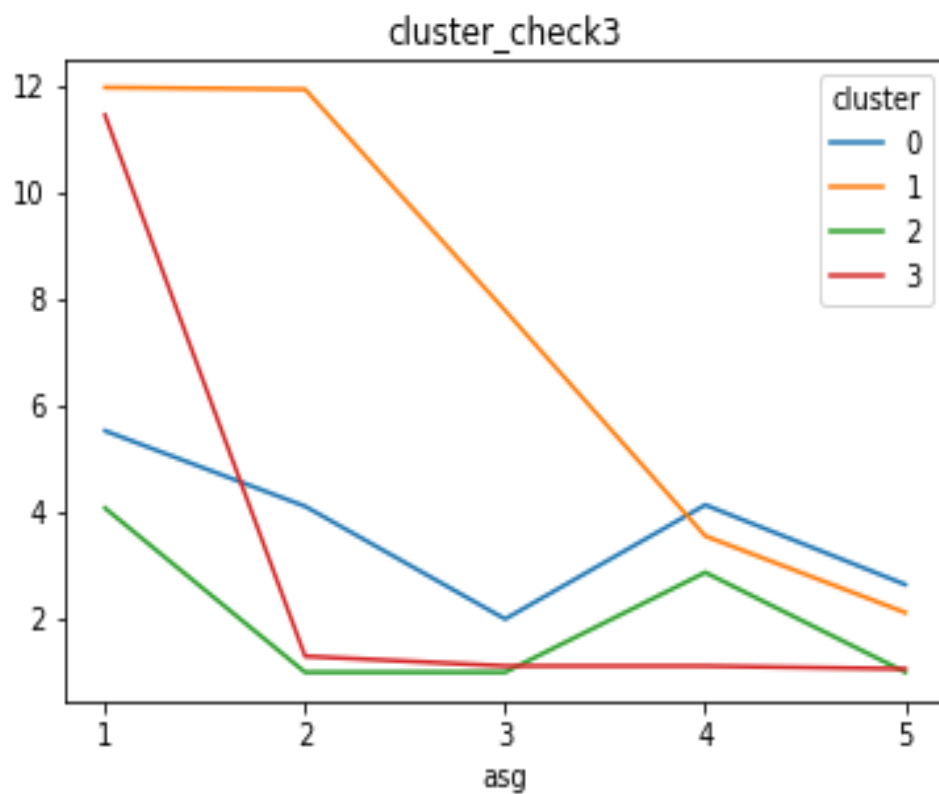


図 15 減少の作問課題のレベル 3 の各クラスターの答え合わせ回数の推移

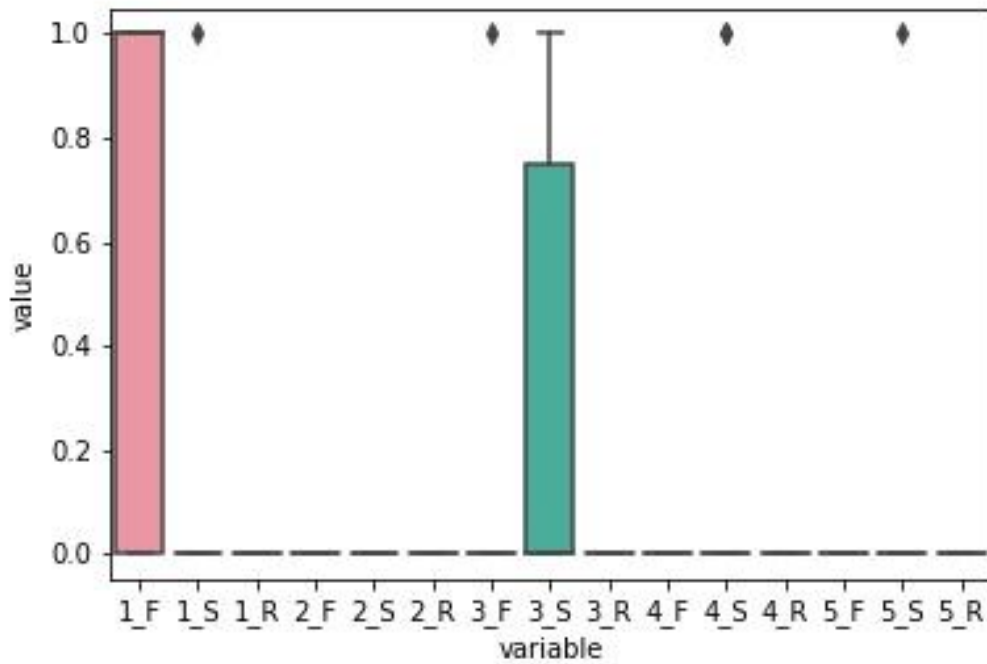


図 16 減少レベル 3 の各戦略の分布

表 5 減少の各クラスターの検定の有意差

	F	S	R	Score
0	H	M	L	H
1	M	L	L	L
2	L	H	H	H
3	L	H	L	M

4.3.4 比較作問課題

比較の作問課題に置いては Score に関して有意差は見られなかったが (表 6), 同様に比較の作問課題に注目すると (図 17), クラスター1 の学習者群は関係文開始戦略と物語順戦略を多く利用しており, クラスター1 の演習パフォーマンスは 1 問目の答え合わせ回数が多いものの, 2 問目以降安定して作問を行い正解している (図 18). その他のクラスターは 5 問目の演習パフォーマンスが悪く, 僅かだが安定に欠けているパフォーマンスとなっていることが見受けられる.

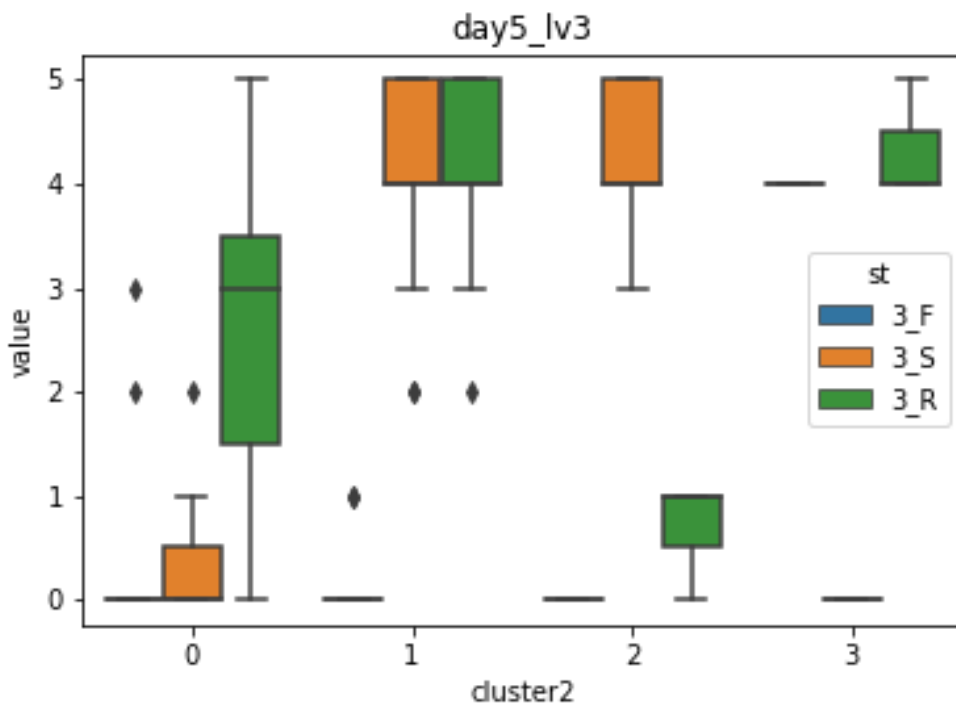


図 17 比較の作問課題における各クラスターの戦略の分布

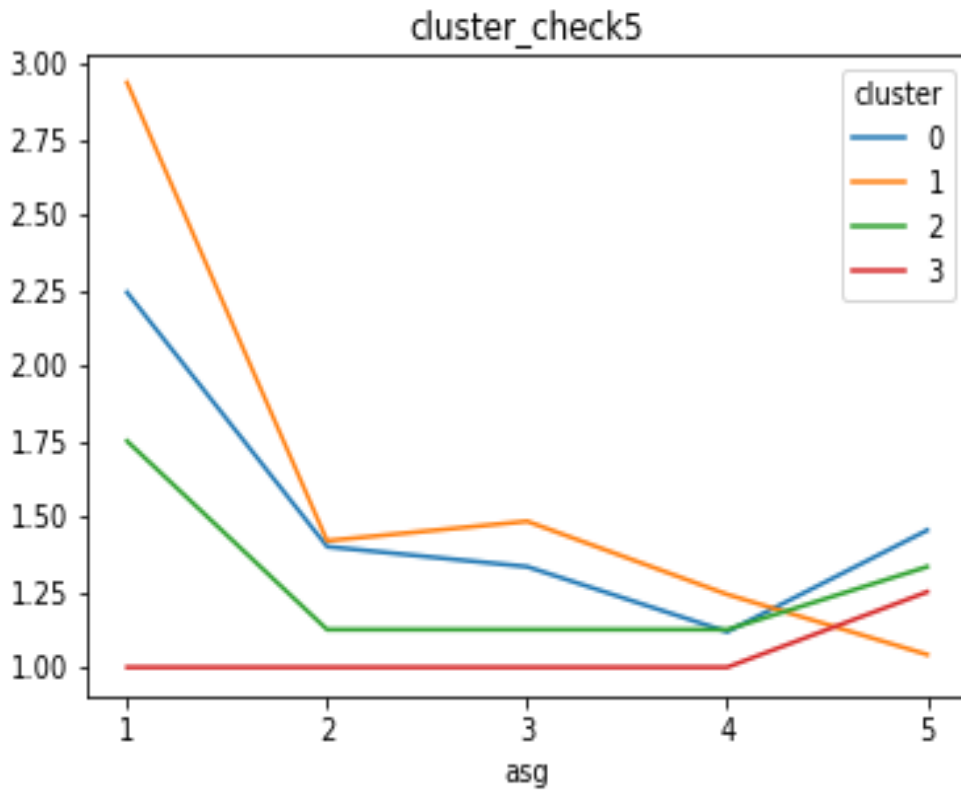


図 18 比較のレベル3における各クラスターの答え合わせ回数の推移

表 6 比較の作問課題の検定の有意差

	F	S	R	Score
0	L	L	M	M
1	L	H	H	M
2	L	H	L	M
3	H	L	H	M

第5章 まとめ・今後の課題

本研究では、算数文章題の構造を理解するために行われる作問学習を効果的に行う技術を開発した。

作問学習を効果的に行うためには、学習者が一人で数多く実施できること、その結果に応じて理解を修正できることが必要である。結果に応じて理解を修正できるようにするためには、学習者の理解や思考を知る必要があった。

本研究では、その機能を獲得するため、学習者の作問方法を戦略として定義し、ログデータに適用することで、学習者の思考を推定する技術を開発した。

実際のモンサクンを利用した学習者のログ分析を行った結果、作問プロセスの意味づけ結果と作問演習パフォーマンスを対応づけることで、学習者の思考および理解状態の作問プロセスへの影響が示唆された。また、学習者によっては不十分ではあるが、モンサクンの演習を通じて学習が来ていることがデータによって示すことができた。今回の分析により、減少の分析結果で顕著に現れたような、戦略をそもそも使えていない学習者の場合は、戦略を使えるように演習しなければならず、作問課題によって有効な戦略が変わってくるため、有効でない戦略を使用している場合は有効な戦略を使用しなければ演習パフォーマンスが良くならないことが示唆された。

今後の研究では、より多くのデータへの適用による提案手法の検証が求められる。また、この分析手法を応用して、学習者の理解状態に基づいた適応的な学習支援が検討される。

第6章 引用文献

- [1] 多鹿秀継, “算数問題解決過程の分析,” 愛知教育大学研究報告,44, 1995, p157-167, 1995.
- [2] 栗山和広, 小学2年生の算数文章題における意味構造の影響, 2009.
- [3] L. Verschaffel, S. Stanislaw, S. Jon , D. V. Wim, Word problems in mathematics education: a survey. ZDM 52, 1–16., 2020.
- [4] 山元翔, 神戸健寛, 吉田裕太, 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,” 信学論(D), vol.J96- D,no.10,pp2440-2451, 2013.
- [5] 平嶋宗, 橋本拓也, 山元翔, 吉田裕太 , 前田誠一, “乗算文章題を対象とした 作問学習支援システムの比の三用法に基づく設計・開発,” 教育システム情報学会研究 報告 27(6), pp.97-104 (2013), 2013.
- [6] 尾土井健太郎, 山元翔 , 平嶋宗, “算数文章題の統合過程のモデル化とシステムによる外化支援の実現,” 2013.
- [7] 横山琢朗, 平嶋宗, 岡本真彦 , 竹内章, “単文統合による作問を対象とした学習支援システムの長期的利用とその効果,” 日本教育工学会論文誌, 2007.
- [8] 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 vol23,no4,pp166-175, 2006.
- [9] L. Baumanns, "Rethinking problem-posing situations: A review".

謝辞

第7章 謝辞

本研究を行うにあたり,ご指導して頂いた平嶋宗教授,林雄介准教授に心から感謝いたします.

また,多くの意見や助言,協力を頂いた,学習工学研究室の皆様方に心から感謝いたします.

付録

表 7 合併の作問課題における各クラスターの答え合わせ回数の分散分析結果

	0	1	2	3
0	1	0.001	0.001	0.459454
1	0.001	1	0.832831	0.185321
2	0.001	0.832831	1	0.01346
3	0.459454	0.185321	0.01346	1

表 8 減少の作問課題の各クラスターの答え合わせ回数の分散分析結果

	2	0	1	3
2	1	0.034992	0.001	0.216294
0	0.034992	1	0.001	0.9
1	0.001	0.001	1	0.001
3	0.216294	0.9	0.001	1

表 9 増加の作問課題の各クラスターの答え合わせ回数の分散分析結果

	0	1	2	3
0	1	0.001	0.194394	0.003832
1	0.001	1	0.001	0.9
2	0.194394	0.001	1	0.001
3	0.003832	0.9	0.001	1

表 10 比較の作問課題の各クラスターの答え合わせ回数の分散分析結果

	0	1	2	3
0	1	0.9	0.335287	0.078195
1	0.9	1	0.606937	0.165328
2	0.335287	0.606937	1	0.464417
3	0.078195	0.165328	0.464417	1