

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*

山元 翔^{†a)} 神戸 健寛[†] 吉田 祐太[†] 前田 一誠^{††}
平嶋 宗[†]

Development of MONSAKUN Touch and Practical Use in Class: Realization of
Lesson of Posing of Arithmetical Word Problems*

Sho YAMAMOTO^{†a)}, Takehiro KANBE[†], Yuta YOSHIDA[†], Kazushige MAEDA^{††},
and Tsukasa HIRASHIMA[†]

あらまし 和若しくは差で解ける算数文章問題を対象とした単文統合型の作問学習支援システム“モンサクン”は数年に渡り複数の小学校の授業で利用されている。しかしながら、これらの授業では既に対象領域の学習を終えている2年生以上を対象としていたため、付加的な学習としての位置づけになっていた。本研究では、対象領域を学習中である1年生を対象に、単文統合型の作問の実施を目指した。このためにはシステムと授業の融合が必要となるため、(1)システムの通常教室での利用、(2)作問状況のリアルタイムでの把握、(3)作問法の教授が解決すべき課題となった。本論文ではこれらの課題を解決するために行った、(I)モンサクンのタブレット化、(II)作問状況モニタリングと集計・可視化機能の実現、(III)作問法の教授法の考案、を述べる。またシステムを用いた9時間限に渡る実践を行い、その分析結果から、システムが十分に利用可能であったこと、学習者の問題解決能力や作問能力の向上が見られたことが確認できたので、これを報告する。

キーワード 作問学習、授業実践、タブレット化、クライアントサーバシステム、単文統合

1. ま え が き

「問題を解くこと」は、解くために必要な知識を確認・定着させるための有効な手段とされており、学習における必須の活動とされている。このため、学習する側においては、問題は解くものであるとの認識が一般的である。これに対して、ある知識が適用できる問題を作成することも有効な活動であることが指摘されている[1]~[3]。この「問題を作成すること」を通じた学習は、「問題」をどのように定義するかによってさまざまな形態に分かれることになるが[4]、本研究では、ある解法で解ける問題を作成することによって、その解法及び

その解法が適用できる問題についての理解を深めることを目的とした「解法ベース」の作問学習を対象としている。

文章で構成される問題を対象とした作問学習を実施する上での大きな課題としては、(1)学習者にとって問題文を作成すること自体が困難な課題であること(文作成困難性)、(2)作成された問題の個別診断が必要となること(問題診断困難性)、の二つがある。作問学習の計算機支援に関する多くの研究においては、これらの問題を避けるために、文作成自体の困難さを重視しなくてもよいと思われる大学生などの学年の高い学習者を対象とし、更に作られた問題の診断に関しては学習者同士がお互いに診断し合う、あるいは批評し合うといったPeer-Assessmentが採用されていた[5]~[7]。これらの研究においては、作られた問題の内容に関してシステムは関知していなかったといえる。小島ら[8]は作られる問題の質に関する考察とその質的向上の計算機による支援の可能性を中学校程度の方程式を用いて解く文章題を大学生に作らせることによって実験的

[†] 広島大学大学院工学研究科, 東広島市
Graduate School of Engineering, Hiroshima University,
Higashihiroshima-shi, 739-8527 Japan

^{††} 広島大学附属小学校, 広島市
Elementary School Attached to Hiroshima University,
Hiroshima-shi, 734-0005 Japan

a) E-mail: sho@lel.hiroshima-u.ac.jp

* 本論文はシステム開発論文である。

に検証しているが、上記二つの課題を解決しておらず、実践的な試みには至っていないといえる。

これに対して、筆者らは、作問困難性に対しては、学習者に自然言語で問題を記述させるのではなく、提供した部品を組み合わせて問題を作らせる単文統合方式を用いることで、構造を組み立てるという作問学習の意義を維持したまま、作問活動の負荷の軽減を試みている。また問題診断困難性に関しては、上記のような形で作られた問題であることを前提として、作成された問題のシステムによる評価 (Agent-Assessment) の実現を試みている。

筆者らはこのようなアプローチで、算数の文章題 [9]～[13] 及び力学 [14], [15] における作問学習支援システムの設計開発を行っており、特に鶴亀算等を対象とした研究 [9] は、作問学習の計算機支援に関する最も初期の研究例となっている。近年取り組んでいる 1 回の和若しくは差で解けるモンサクン [16], [17] の場合は、複数年に渡って算数の正課の授業で 7 時限以上、継続的に利用されている。これはそれ以前のシステムが 1～2 時限の試験的な利用や、授業外での課外利用であったのに対して、より実用的なシステムとして受け入れられていることを示している。

しかしながら、これらのモンサクンの利用は、小学 1 年生で学習する文章題をより高い学年において再度復習するという形での、付加的な学習としての位置づけであった。1 年生でのモンサクンの利用については、初歩レベルの作問課題において 30 分程度の活動としては既に試みがあるが [18]、これはあくまで 1 年生がモンサクンを使って作問できるかどうかを確認するためのものであり、授業に組み込まれているものとは言えなかった。しかし 1 年生で作問学習を行うことは、学習指導要領でも問題解決の後の発展課題として明記されており [19]、実現を試みるべきものであるといえる。本研究では、この 1 年生でのモンサクンを用いた作問学習の実現を目標とする。

これまでのモンサクンの利用では復習としての演習、という位置づけであったため、個々の学習者は個々の進捗で演習を行っており、また教諭による介入も授業の最後にまとめた指導が中心であった。このため従来のモンサクンは、スタンドアロン形式で実装されており、またデスクトップ PC での利用を前提としていた。このため、これまでの実践はパソコン教室に移動しての利用であり、また学習者の進捗はリアルタイムでは把握できていなかった。更に、作問の方法につい

ても、明示的な指導は行っていなかった。しかしながら本研究において、小学校 1 年生を対象として、算数の文章題の解決に関する学習と接続する形で作問学習を実施するに当たり、授業を実施する教諭 (過去 2 年間に渡ってモンサクンの授業利用を行っている) より、次の課題を解決することが求められた。(I) 文章題自体を学習途上にある学習者が対象となるために授業との連動が必須となるので、授業との連動をスムーズに実現するために通常の教室でのシステム利用が必要、(II) 授業をスムーズに進めていくためには、学習者の作問状況をリアルタイムで把握することが必要、(III) 作問の仕方自体を教える方法が必要、の三点である。

以上に対し筆者らは、(I) の問題に対処するために、モンサクンをタブレット端末で稼働するようにした。これによりパソコン教室への移動の手間や時間を節約することができるとともに、教室と異なる学習者の席配置や黒板位置といった差異への対処を行う必要がなくなった。(II) についてはモンサクンをクライアントサーバ形式で実装し、無線 LAN でサーバに接続するとともに、データベースに収集・蓄積した学習データを集計・可視化するシステムの開発を行った。(III) については、モンサクンの作問タスクモデルに沿って、作問の方法についての教授法を考案した。このように新しく作られたシステムをモンサクン Touch と呼ぶ。

なお、作問学習にタブレットを用いた例はこれまで報告されておらず、一般教室での計算機支援による作問学習を実現したという点で有効性と新規性はあるといえる。しかしながら、(I) 及び (II) の課題に対してタブレット、無線 LAN 及びサーバを組み合わせたことで対処することは既にある程度試みられていることといえ [20]、タブレットを用いた学習支援というアプローチ自体に新規性があるというわけではない。

本論文ではこれらのシステムと作問方法の教授法を説明し、実際に小学校 1 年生を対象として行った実践授業とその結果について報告する。以下、第二章で従来のモンサクンについて概説し、第三章で今回作成したシステムとその授業、第四章で実践とその評価について報告、第五章でまとめる。

2. 単文統合型の作問学習

単文統合型の作問では、学習者は自然言語で問題を記述する必要はなく、与えられた単文カード群から適当なものを選び、それらを適切な順序に並べることで問題を作ることになる。具体的な例を図 1 に示す。学

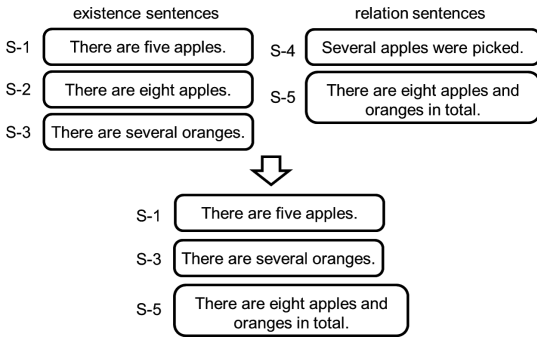


図 1 単文統合型の作問の例

Fig. 1 Example of problem-posing as sentence integration.

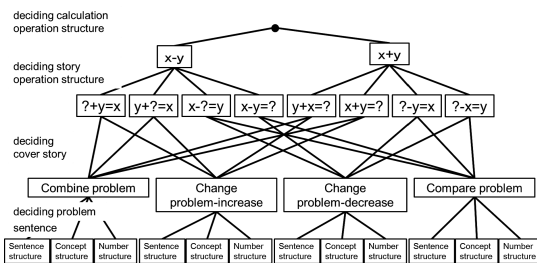


図 2 作問タスク

Fig. 2 Task model of problem-posing as sentence integration.

習者は S-1 から S-5 の単文カードを与えられている。一つの単文カードには、一つの数値を表現した文（これを単文と呼んでいる）が記載されている。この例では、S-1, S-3, S-5 を選び、表記の順序で並べることで、「8-5」で解ける問題を作ることができる。この式を本研究では計算式と呼ぶ。また、この問題は、ある数量とある数量を合わせることで、合わせた数量が得られるという事象を対象としている。この事象で取り扱った問題を、合併の問題と呼ぶ。和と差の算数の文章題においては、合併の他に比較、増加、減少の事象に分類されるのが一般的であり [21]、本研究ではこれらの事象を物語構造と呼んでいる。また、これらの物語構造において未知数が決定されることで問題となると、それに対応する方程式ができあがる。この場合では「 $5+?=8$ 」となるが、これを本研究では関係式と呼ぶ。モンサクンでは、提供する単文カード群に加えて、これらの計算式、物語構造、関係式を指定することで、作問課題を設定している。

モンサクンにおける作問タスクのモデルを図 2 に示した。作問する場合、まず、足し算の問題を作るか引き算の問題を作るかを決定する必要がある。これが

計算式の決定タスク（deciding calculation operation structure）にあたる。足し算か引き算かが決定されると、それに見合う関係式を決定することが必要となる。これが関係式決定タスク（deciding story operation structure）となる。関係式を決めると、それに対する物語構造を選ぶことになる。これが物語構造決定タスク（deciding cover story）となる。これらが決まれば、これらの決定に対応するように単文カードを取捨選択することになる。この際、物語構造に沿った文の選択及び順序付け、オブジェクト及び数値の対応付け（deciding problem sentence）が必要となる。ここではタスクモデルをトップダウンに説明したが、実際には作問課題として関係式や物語構造が指定されることで考慮すべきタスクが限定されており、また、与えられた単文カード群からのボトムアップな作成もありうるものである。よってこのタスクのモデルは作問活動のプロセスを表したものとはいえないが、問題を作るうえで満たすべき制約を洗い出したものとなっているため、モンサクンでの作問課題の設定においては、このタスクモデルを用いている。

このような作問課題においては、計算式と関係式の演算が異なる問題を作る課題の場合、それらが一致する問題を作る場合に比べてその難しさが飛躍的に上昇する。このような計算式と関係式の演算が異なる問題を逆思考の問題と呼び、一致する問題を順思考の問題と呼ぶ。課題設定において計算式と関係式を同時に提示することはないが、計算式を足し算にした上で、減少の問題若しくは比べる問題を作らせる場合には、逆思考問題の作成課題となる。つまり、物語としては「減る」のに答えを足し算で求めることになるため、このような問題は解決においても難しいとされている。本研究で実施した授業における課題設定については、3.2 において具体的に述べる。

3. モンサクン Touch

モンサクンを 1 年生の授業で利用する上で、(1) 教室での利用、(2) 作問状況のモニタリング、(3) 作問方法の教授、の三つの課題を解決する必要があった。そこで本研究では、(I) タブレットによる稼働、(II) 無線 LAN 接続とデータ集計・可視化ツールの開発、(III) 作問タスクモデルに基づく作問法の教授、によりこれらの課題を解決した。本章では、これらの課題に対する解決策について述べる。このようにして実現されたシステムの実践結果については、次章で説明する。

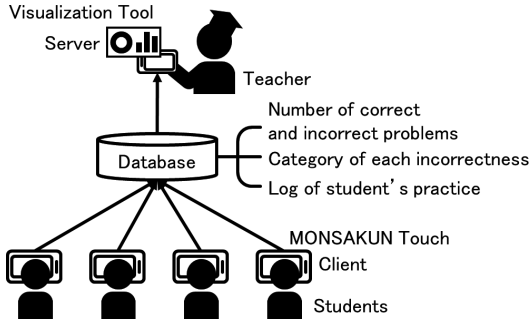


図3 システムの構成図
Fig. 3 Framework of learning environment.

3.1 システムの構成

本研究において開発したシステムの構成図を図3に示す。モンサクン Touch の学習者用インターフェースはタブレットで利用可能となっている。作問課題の決定及び作成された問題の診断はタブレットにおいて行われ、その結果が無線 LAN 経由でデータベースに送られる。そして教師は可視化ツールを使い、作問状況をモニタリングすることができる。次章で述べる実践では、ノートパソコンをサーバとしてデータベース及び可視化ツールを実装し、教師が教室においてタブレット上で可視化ツールを用いることで、データを参照できるようにしている。これは、通常教室の情報基盤の整備がまだ行われていなかったためである。

作問状況としては、作問の正誤の数、各誤りの数、そして実際にどのような問題を作成したかのデータがデータベースに送られる。集計ツールはそれらのデータをグラフによって可視化する。教師はこれらのデータをもとに学習者の学習状況を確認し、学習者の行き詰まりに対する教授を行ったり、次回の授業構築のための元データにしたりする。なお、モンサクン Touch は Android、集計ツールは PHP で開発しており、RDBMS は MySQL を用いている。

3.2 モンサクン Touch のインターフェース

タブレット端末用に開発したモンサクン（モンサクン Touch）のインターフェースを図4に示す。システムは左上に課題となる解法を提示し、右部に単文カードのセットを与えている。このカードセットには正解となる三つのカード以外にダミーのカード [22] を追加しており、これにより学習者が総当たりで正解することをほぼ不可能にしている。学習者はこのカードセットから三枚のカードを選択し、システム左部の中央にあるカード置き場に三つのカードをセットすることで作問

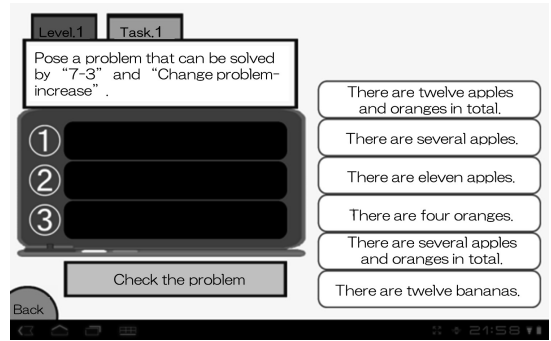


図4 モンサクン Touch のインターフェース
Fig. 4 Interface of MONSAKUN Touch.

を行う。三つのカードを置くと答え合わせボタンがアクティブになり、学習者は診断を行うことができる。以上の仕様は以前のモンサクンと同様だが、今回、授業に合わせて特定の課題に移動する機能や、モンサクンによる誤りに対するフィードバックを正誤の指摘のみに制限する機能を追加している。このフィードバックを制限する機能は、教諭の要求によるものであり、間違いの原因について考えさせる授業を行うために用いられている。

システムの一連の流れとしては、まず学生番号を選択することによりログインを行う。すると1~6の作問課題レベルの選択画面が提示される。この画面でフィードバックの ON/OFF の設定、特定の問題への移動などができる。特定のレベルを選択するとそのレベルの課題に取り組むことができ、レベル内の課題を全てクリアすると、そのレベルは終了となる。演習途中にレベル選択画面に戻ることや、復習のためにクリアしたレベルの演習を行うこともできる。このレベルの選択は、教諭の指示に従って学習者自身が行うものである。レベル設定については次で説明する。

3.3 課題設定

ここではモンサクンに実装しているレベルや課題の設定について述べる。これらの設定は作問タスクモデルにおける難易度に基づいて案を出した上で、今回の実践授業の担当教諭による確認・調整の上で決定しており、その内訳は表1に示す。作問課題はまず、順思考 (Forward thinking) の問題を作る場合と逆思考 (Reverse thinking) の問題を作る場合に分けられ、順思考問題を作るほうが簡単とされる。更に逆思考の問題を作る場合、関係式 (Story operation) を与えると関係式の演算と問題の示唆する演算は一致するた

表 1 モンサクン Touch のレベル設定
Table 1 Levels of MONSAKUN Touch.

Lv	Thinking	Operation	Cover story
1	Forward thinking	Story	Combine Increase Decrease Compare
2	Forward thinking	Story	Increase-Combine
3	Reverse thinking	Story	Combine Increase Decrease Compare
4	Reverse thinking	Story	Increase-Combine
5	Reverse thinking	Calculation	Combine Increase Decrease Compare
6	Random	Random	Random

め、必ずしも難しい課題とは言えない。よって計算式 (Calculation operation) を与えて逆思考問題を作る場合が最も難しくなり、これをレベル 5 としている。レベル 6 のランダムとは、レベル 1~レベル 5 で用意された各課題がランダムに提示されるレベルとなっている。レベル 1 は足し算の関係式に対して増加若しくは合併の問題を作る課題と、引き算の関係式に対して、減少若しくは比較の問題を作る課題が提示される。レベル 3 では、左辺に未知数がある関係式に対して、足し算の関係式であれば、増加若しくは合併、引き算の関係式であれば、減少若しくは比較の問題を作る課題が提示される。レベル 2 及びレベル 4 の物語は、「みかんが二つあります。みかんがあと四つあります。みかんはぜんぶで?こあります。」のように合併とも増加とも解釈されるような表現を用いた問題であり、言語的な要素での区分となっているために本研究の枠組みで明確に説明できるものではないが、教師の希望により少数の課題設定を行っている。問題数はレベル 1, 3, 5, 6 が 12 問、レベル 2, 4 が 3 問となっている。なお、作問活動の最初の段階であることを踏まえて、一つの作問課題に対して一問しか適切な問題を作成できないようにしている。

3.4 問題の診断

問題を診断する手続きについては、図 5 に示す。診断は (1) 物語構成が成立しているか (作問タスクの文構成)、(2) 計算可能となっているか (作問タスクのオブジェクト構成、数値構成)、をチェックすることで計算可能な問題となっているかどうかを判断した後、提示されている課題に一致する問題が作成されているか

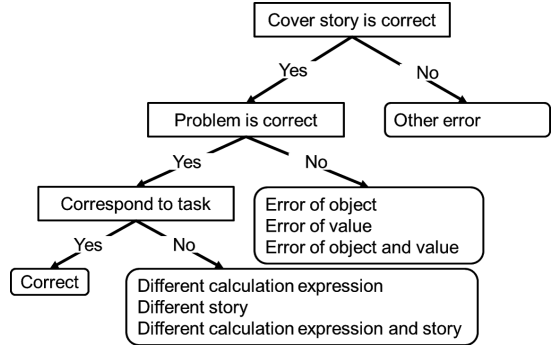


図 5 問題を診断する手続き
Fig. 5 Processing for assessing the posed problem.

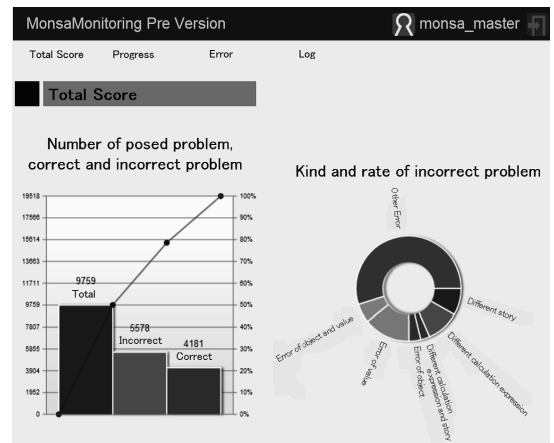


図 6 メインインタフェース
Fig. 6 Main interface of visualization system.

どうかを判断する。これらの過程で起こる間違いが学習者にフィードバックとして返され、集計ツールで学習者の誤りの分類結果として提示される。

3.5 集計・可視化ツール

モンサクン Touch 上で行われた作問活動の結果を集計・可視化するシステムについて述べる。システムは大まかに二つの機能をもっており、一つは学習者のモンサクン Touch 上での学習者の誤りを集計・表示する誤り確認画面で、もう一つは学習者がモンサクン Touch 上で現在の課題に取り組んでいるかを確認する進捗確認画面である。システムはセッション管理をしているので ID と PASSWORD を入力してログインしなければデータの閲覧ができないようになっている。ログイン後、図 6 に示すメイン画面に移動、画面上部のリンクをクリックすることで誤り確認画面と進捗確認画面に移動できる。システムはリアルタイムでデータを取得・可視化しているため、教師は授業内の

その時点での学習者の状況を即時把握して授業の内容や進度を調整したり、授業後に各々の誤りの種類や割合を確認することで次回の授業構成の参考にすることができる。この機能は、担当教諭がモンサクン利用中の生徒たちの様子を把握するために必要として要望した、作成した問題数及びその正誤数、間違っただけの種類、そして作問演習の進捗状況を、クラス全体に関して集計し、表示するものとなっている。間違ひの種類としては、図5の示した種類分けで十分とのことでしたので、その分類に従って集計している。

メイン画面では行った授業の学習者全体の問題作成数、その内訳として正解数と誤り数を、総合と平均両方で確認することができる。また誤りについても授業内の誤り率を簡易的に確認することができる。これについては図6に示すインターフェースの左部で、左から順にそれぞれ、作問の作成、誤り、正解数を棒グラフで、右部ではその授業でどのような誤りが多かったかを割合としてドーナツグラフで表示している。また、ログ閲覧をクリックすることで、学習者がモンサクン上で取り組んだ課題とその回答、診断結果について、その一覧を作問履歴として参照することもできる。

誤り確認画面では、モンサクン Touch から送られたデータをもとに学習者の誤りの内訳をグラフとして可視化している。その画面を図7に示す。システムはまず今回のレベルとその概要を一覧として表示し、各レベルでの誤り数を併せて提示している。それをク

リックすると選択レベルの内訳が提示され、各レベルでの合計誤り数、そしてその割合がそれぞれ棒グラフとドーナツグラフで表示される。また各レベルでの誤り確認の下部に“課題ごとの間違いを確認する”というリンクが表示されている。これをクリックすることで、そのレベルの各課題の誤りが一覧として表示される。この画面でもレベル一覧とほぼ同様に、課題1から順番にリストが表示され、クリックすることでその課題の誤り数とその割合が表示される。ただし課題の場合にはその下に更に、作問課題と正解のカードセット、誤りのカードセットも併せて表示している。

次に進捗確認画面について説明する。モンサクン Touch からは学習者が課題に正解するごとに取り組んでいるレベルと課題番号を送信しているため、現在学習者の取り組んでいる課題を集計ツールが把握することができる。集計ツールは学習者の進捗状況をまずレベルごとに提示する。ここではレベルの一覧と取り組んでいる人数が表示されており、特定のレベルをクリックすることで、そのレベルに取り組んでいる学習者の名前を一覧で表示する。これらについて図8に示す。更に、各レベル内で何名の学習者が何番目の課題に取り組んでいるかについても、一覧を表示することができる。更に、各課題に関して誰が取り組んでいるかも表示可能となっている。これを用いて、全体の進捗状況や誤りが多い課題、及び個別の進捗状況を把握することができる。

3.6 作問法の教授

本実践を担当した教諭は、2009年度に4年生1クラスを対象として7時限、2010年度には2年生1クラスを対象として8時限のモンサクン（デスクトップ版、コンピュータ室）の利用を行っている。これらの経験を踏まえて、加減で解ける算数の文章題の解決を学習した後の連続的で発展的な学習という位置づけのもと、1年生にモンサクン（タブレット版、通常教室）

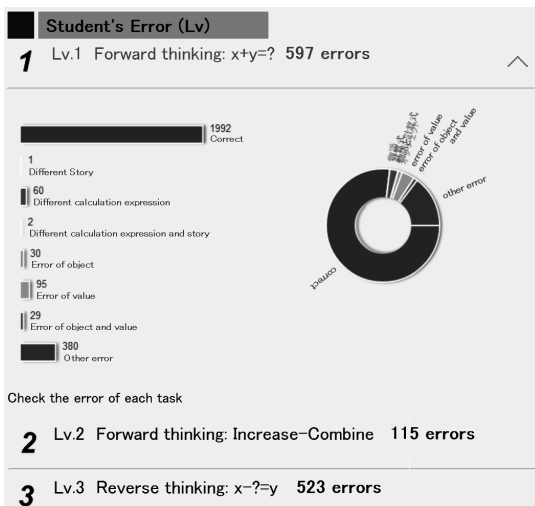


図7 誤り確認画面

Fig. 7 Interface for confirming incorrectness in each category.

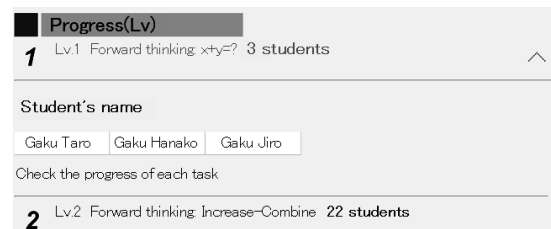


図8 進捗確認画面

Fig. 8 Interface for confirming progress.

を利用した作問学習を試みたのが本実践である。デスクトップ版でもタブレット版においても図2のタスクモデルに基づいて作問課題が設計されている点は同じであるが、今回用いたタブレット版では、担当教諭の監修の下、作問課題において用いられている問題場面を、1年生の教科書に準拠したもののみで全面的に入れ替えている。また、課題のレベル分けと作問課題数も、授業と組み合わせたいうでの演習であり、また、基本として1レベルを1時限で行うことを前提としたものに調整されている。

今回のモンサクンをを用いた作問授業においては、(1)モンサクンにおける作問活動を前提とした問題の構造及び作問に関する教授、(2)モンサクンをを用いた作問演習、が行われた。(1)については、まず、教師は紙に書いた単文カードをモンサクンと同様に幾つか用意し、黒板に磁石で張り付ける。更に、作問課題として、関係式若しくは計算式と物語構造を設定する。その上で、その設定を満たす問題を作る上でどのカードが必要で、どのカードが不必要であるかを学習者に考えさせる、といった授業を行った。カードの要不要を考えさせる際には、物語構造と単文カードの関係、単文カード間のオブジェクトの対応関係、数値の関係や順序などに注意を払うことが必要であることを指摘する。用意されているダミーカードは、これらの制約に注意を払わない場合の作問に利用可能なものとなっており[22]、2.で述べた作問タスクに基づいて用意されたものとなっている。このようなダミーカードは当該の課題において利用できないとしても、他の課題において利用できるものとなっているので、担当教諭はこれらダミーカードについても、どのような場合に使えるものであるのかについての説明を行う。

授業では、これらの作問法に関しての教授を行った上で、モンサクンを利用した作問演習に移行する。基本的には一つのレベルを1時限で実施し、次の時限では次のレベルで同様の授業と演習を実施している。このように、問題の授業を構造で教え、その教授内容をモンサクンで確認できるという授業設計となっている。

これらの教授は作問法の説明であるとともに、問題自体の説明となっている。従来の問題解決を前提とした教授及び演習においては、学習者が取り組む問題は全て「正しい」問題となっているため、問題が成立する条件や問題がもつべき構造といったものを必ずしも意識する必要はなかったといえる。これに対してモンサクンでは問題が成立する条件を意識しなければ問

違った問題を作ってしまうことになり、また、それを前提とすることで問題の構造がどうなっているのかに関する教授の発想が生まれ、この教授法の提案になっている。またこの教授法についても、教授された内容を用いた演習としての作問が無ければ定着させることは難しいといえ、モンサクンをを用いた作問演習が実施可能であることが前提となっている。

なお、本実践では1年生に対してこの教授法を用いているが、これは担当教諭による担当児童の能力の見極めに負うところが大きく、現時点ではこの教授法が小学1年生一般に適用できるものとはいえない。したがって、本システムの適用可能性については、今後更に実践・検証を進めていく必要がある。また、本実践において教諭がどのような発話や黒板の利用を行い、また生徒がそれに対してどのような発話を行ったのかなどは、授業分析の対象として非常に有用な情報を含んでいると思われる、今後分析してゆく予定であるが、膨大な分量になることと、本論文がシステム開発に焦点を当てていることから、割愛する。

4. 実践授業

4.1 実践の流れ

実践の対象者は広島大学附属小学校の1年生1クラスで、人数は39名である。授業はプレ・ポストテストを除いて、合計9時限(1時限45分、3週間)かけて行われた。プレテストとポストテスト・アンケートは一連の授業を実施する前後に別の授業として行っている。授業内容の内訳としては、30分程度の教授と10分程度のモンサクンをを用いた演習を基本としているが、実際には授業の進行に応じて変化している。

時限の配分としては、レベル1に2時限、レベル2を1時限、レベル3を2時限、レベル4を1時限、レベル5を3時限行っている。レベル1は導入であるため、多くの時間が取られている。レベル5については、1時限目の冒頭にレベル5の演習を3分間行い、問題を作ることが困難であることを学習者に気付かせた上で、作問法に関する教授を実施している。更に2時限目に追加の教授約20分と作問演習20分程度を行っており、3時限目は全時間を作問演習に用いている。この際、レベル5の12問を作成し終わった学習者にはレベル6に進むことを許している。

これらの授業では、LAN環境の設定やシステムの運用をサポートするために常時3名のTAが参加しているが、内容的な指導は行っていない。

4.2 プレ・ポストテスト

プレ・ポストテストには、問題解決テスト、作問テストの二つをそれぞれ実施した。問題解決テストは通常の問題解決と同様だが、文章を単文同様三つに区切って表現している。ただし“?”は用いず、問題文同様、いくつでしょう、という表現のままである。問題としては合併、増加、減少、比較の各物語構造の問題を用意しており、比較は更に、“より多い”と“より少ない”の二種類を用意している。これら五つを各二問ずつ、更に順思考問題と逆思考問題でそれぞれ用意しているため、問題数は20問になっている。

作問テストは、紙の上にならされている17個の番号を割り振られた単文を用い、その番号を三つ選択することで四つの問題を作成させるものとなっている。形式は単文統合型の作問同様だが、こちらも“?”は用いずに“いくつでしょう”という表現を用いている。現場でのテスト実施の都合上、これらの二つのテストを一連の一つのテストとし、25分かけて行ってもらった。

4.3 実践結果：作問数

モンサクンを用いた作問演習での、一人当たりの問題作成数と正解率を図9に示した。授業の都合で時限ごとに演習時間が異なるため、作成数等の値はレベル1の最初の時限は少なく、レベル3の間は安定している。先行研究で行ったレベル1に相当する課題のみを用いた1年生に対する作問では、30分間の利用で1分あたり2.98問作成し、正解率が53%であったという記録が残っている[18]。タブレットによる操作の簡便性、インタフェースの改良、被験者群の違い、使用時間の違いなど、条件が大きく異なるため単純な比較はできないが、量的には十分な活動が行われたと判断している。担当教諭による評価としても、学習者らは真剣に取り組んでおり、9時限を使うに足る内容であったとの判断である。また、単純に取り組んだ問題数だ

け考えても、問題解決において同様の数の問題に取り組みさせるのは不可能に近いので、学習活動としては有意義なものであるとしている。

計算式からの逆思考問題の作成を行わせるレベル5の1回目の授業(7時限目)の冒頭に行われた作問演習では、作問数(3分間で13.5問)が多く、正解率(9%)が極端に低いが、レベル5の作成課題に学習者が対応できず、試行錯誤的な作問を行ったためと思われる。この対応の難しさは、この演習に続く授業において、足し算で解ける問題を作る課題において減少を表す単文の要不要の教師からの問いかけに対して、ほとんどの学習者が不要とし、一部使えるとの学習者の主張に対しても納得しなかったことから伺われる。授業の方針として学習者の自発的な気づきを尊重していたため、この時限内ではこの意見の対立は解消されず、レベル5に関する2時限目において再度教授を行い、この時限内では「計算する式とお話の式が異なっている」ことを結論付けた上で、演習を行っている。つづく9時限目においてはレベル5の12問を作成し終わり、時限内にレベル6に進んだ学習者が22名おり、レベル6において合計735問の問題を作成し、そのうち正しい問題は268問であった。このレベル6においては種々の問題が含まれている点と、実施時間がまちまちであったりすることから、図9及び以降の分析は、これらレベル6の作問数等を除いて行っている。

レベル5を行った8時限目、9時限目では7時限目より正解率は上昇しているものの、レベル4までを対象とした6時限目までの正解率がおおむね70%であったのに対して、明らかに低い数字となっている(8時限目15%、9時限目13%)。このことから、レベル5については、必ずしも十分に学習者が理解できているとはいえない。教諭による評価も同様であるが、問題解決だけを行っている場合には意識させるのが難しかった「計算の式とお話の式の違い」を学習者が意識できたことが重要であり、現時点でそれが十分に消化できていないとしても、次の学習につながる結果であるとの判断であった。作問数・正解数に関しては、次節でプレテストポストテストの結果に関連付けて更に説明する。

4.4 実践結果：プレ・ポストテスト

問題解決、作問テストの結果をそれぞれ表2に提示する。問題解決テストでは、順思考、逆思考共に成績が向上しており、ウィルコクソンの符号付き順位和で検定を行ったところ $p = .04$ と $p = .0002$ で有意差有りだった。効果量はそれぞれ $|r| = .23$ (効果量

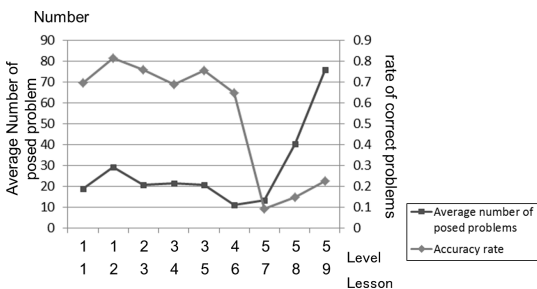


図9 モンサクン Touch のログ (N = 36)
Fig. 9 Result of Log (N = 36).

表2 全体のプレ・ポストテスト結果
Table 2 Result of Pre-Posttest in total.

Test	Problem	Pretest		Posttest		
		M	SD	M	SD	
Problem solving (N=38)	Forward thinking	8.76	0.43	8.89	1.93	*
	Reverse thinking	6.92	1.55	8.32	2.30	**
Problem posing (N=39)	Forward thinking	1.54	1.01	1.14	0.96	ns
	Reverse thinking	0.74	0.84	1.44	0.96	**

** $p < .01$, * $p < .05$

小)と $|r| = .41$ (効果量中)であった。また作問テストについても、最初は順思考問題の作成数が多かったものの、演習後には逆思考問題を多く作成するようになっていた。逆思考問題の作問数のプレとポストの違いは、ウィルコクソンの符号付き順位和検定により、 $p = .0006$ で $|r| = .39$ (効果量中)であった。これらの結果は、モンサクンをういた授業が問題解決能力及び作問能力の向上に有効であったことを示している。

次にモンサクンの利用とテストの成績について検討する。モンサクンによる作問設定では、6枚のカードから3枚を選んで並べることになるが、作成できる問題の数は120通りとなり、ランダムな組み合わせでは正しい問題を作成することは難しいといえる。現在得られている正解率はランダムに行った場合の正解率より十分高く、学習者は問題について考えながら作問しているといえる。しかしながら作った問題が間違っている場合、試行錯誤的に単文カードを入れ替える学習者がある程度見受けられた。このような作問活動を取る学習者と、よく考えながら作問を行う学習者とは、問題解決や作問の能力及び作問学習の効果に違いがあるのではないかと考え、正解率の平均値で上位群と下位群に分けた上で、各プレテスト、ポストテストの成績を分析した。なお、ここでレベル5に関してはほとんどの学習者がある程度の試行錯誤的な活動を行っており、また、十分に理解できたといえないとの判断から、正解率についてはレベル4までを行った6時限目までのデータを用いている。

これらのデータ及び分散分析の結果を表3, 4にまとめた。順思考・逆思考問題の問題解決及び逆思考問題の作問に関しては、事前事後及び上位下位で有意差がみられ、順思考の作問ではいずれも有意差がみられなかった。これらのことから、モンサクンにおいて高い

表3 プレ・ポストテストの分散分析 (N of high = 22, N of low = 14)

Table 3 Two-factor ANOVA of Pre-Posttest.

(a) 問題解決順思考の得点

(a) Score of forward thinking problem solving

factor	SS	df	MS	F	
pre×post-test	1.80	1	1.80	3.97	+
high×low	6.72	1	6.72	14.81	**
interaction	0.38	1	0.38	0.84	ns
total variation	39.78	71			

(b) 問題解決逆思考の得点

(b) Score of reverse thinking problem solving

factor	SS	df	MS	F	
pre×post-test	25.64	1	25.64	11.07	**
high×low	66.13	1	66.13	28.54	**
interaction	1.37	1	1.37	0.59	ns
total variation	250.65	71			

(c) 順思考問題の作問数

(c) Number of posed forward thinking problem

factor	SS	df	MS	F	
pre×post-test	0.96	1	0.96	1.05	ns
high×low	0.01	1	0.01	0.02	*
interaction	0.33	1	0.33	0.36	ns
total variation	63.65	71			

(d) 逆思考問題の作問数

(d) Number of posed reverse thinking problem

factor	SS	df	MS	F	
pre×post-test	6.44	1	6.44	8.91	**
high×low	7.35	1	7.35	10.16	**
interaction	0.91	1	0.91	1.26	ns
total variation	63.88	71			

** $p < .01$, * $p < .05$, + $p < .10$

正解率で作問を行える学習者は問題解決能力及び作問能力が高いことが示唆された。上位群と下位群の成績の差に関しては作問演習の効果はみられなかったが、順思考・逆思考問題の問題解決及び逆思考問題の作問のいずれにおいても数値的に差が大きくなっていることから、効果がある可能性は残る。特に逆思考の作問成績の上位群と下位群の差を事前と事後で個別に検定すると、事前では有意差はなく($p = .20$)、事後では有意差が表れている($p = .003$)。これらの点については更に検証が必要であるといえる。

なお、ここでのプレ・ポストテストの結果は、システムを用いて行われた作問学習がそれ自体において意義のある学習活動であったことを示しているが、別の

表 4 プレ・ポストテスト結果 (N = 36, 上位 N = 22, 下位 N = 14)

Table 4 Result of Pre-Posttest.

	Group	Pretest	Posttest	
Problem solving	high	8.12	9.55	ns
forward thinking	low	8.64	9.07	**
Problem solving	high	7.23	9.36	**
reverse thinking	low	6.29	7.86	**
Problem posing	high	1.45	1.59	ns
Forward thinking	low	1.36	1.21	ns
Problem posing	high	0.95	1.77	**
reverse thinking	low	0.57	0.93	ns

** $p < .01$

Number	Asking
(1)	Do you enjoy posing problems in arithmetic?
(2)	Are arithmetic problems easy to pose?
(3)	Do you think that posing problems is a good learning method of the arithmetic?
(4)	Do you think that posing problems made it easier to solve problems?
(5)	Do you think that it easy to use MONSAKUN Touch?
(6)	Are feedbacks easy to understand?
(7)	Would you like to attend arithmetic classes where problem posing is used?

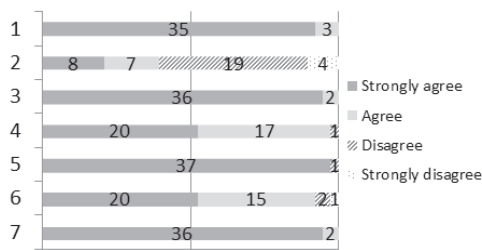


図 10 児童のアンケート結果
Fig. 10 Result of Questionnaire (Students).

学習活動，例えば問題解決演習やシステムを用いた作問学習，に対して優位性をもっていることを直接的に示すものとはなっていない．実践の中で統制群を設けることは簡単ではないが，本システムを用いた作問学習の意義を明確にする上で，統制群との比較による検証を行っていくことが必要と考えている．

4.5 実践結果：アンケート

学習者のアンケート結果を図 10 に示す．全体として演習には肯定意見だが，算数の問題を作ることを簡単だと答えた児童は少なかった（項目 2）．これに

いては，レベル 5 の作問活動が困難であったためだと考えられる．それにもかかわらず全員が「楽しかった（項目 1）」「次も使いたい（項目 7）」に関して肯定的に回答したことから，モンサクンによる授業は学習者に受け入れられたと考えている．

今回授業を担当した教諭を対象に行ったアンケートでも，(1) モンサクンを用いた授業は意義があったと思うか，(2) タブレット化はモンサクンと教授との有効に有効であったと思うか，(3) 集計ツールは授業の状況を把握するのに役立ったか，(4) 今後もモンサクンを用いた作問授業を行っていききたいか，という四つの質問項目について，強い同意から強い否定までの 4 件法で聞いたところ，(1)(2)(4) については「強い同意」，(3) については「同意」が得られた．また自由記述の感想としては，“単文統合の形式による議論の焦点化が図れる”，“教室で (PC 教室ではなく) 通常の授業と同じ形態で行えること (黒板と組み合わせた授業構成ができる) がモンサクンを用いた作問授業を行う上で非常に重要”との回答を得た．これらのことは，モンサクン及びそれを用いた授業が学習者及び教諭に受け入れられていることを示している．

モンサクンに関する問題点としては，誤った問題に対する指摘は妥当ではあるものの，学習者にとってわかりやすいものではなかったことが指摘された．診断結果に基づくフィードバックの設計に関しては改善の必要があり，図式化等の工夫を検討している．集計ツールについても，有用な情報が提示されてはいるものの，教諭が授業中あるいは授業後に用いるとした場合に，操作性や情報の表示についてまだ見難い点が残るということで，改善する必要がある．また，実践中接続が不安定になった場合があり，ログはタブレットからハードを介して取得するケースがあった．これは学習者のログデータなどを逐次送信しているためであると考えられ，データ送信の仕組みを改善する必要も課題として残った．

また今回，1 時限分 (7 時限目) を公開授業という形式で，約 100 名の教員の方々に見て頂く機会があった (この時限は体育館において実施)．この時限はレベル 5 への導入であり，計算式と異なる演算を示唆する物語構造をもった問題を作ることになることから，多くの学習者に混乱が見られたといえる授業であった．しかしながら，授業後の討論会においては，単文カードを用いた作問法の授業に関しては肯定的な意見のみが出た．また，レベル 5 の作問に関して発生した学習者

Number	Asking
(1)	Do you think that arithmetic problem posing is important?
(2)	Do you think that MONSAKUN Touch is useful tool for leaning arithmetic?
(3)	If you have the chance, would you like to use MONSAKUN Touch in your class?

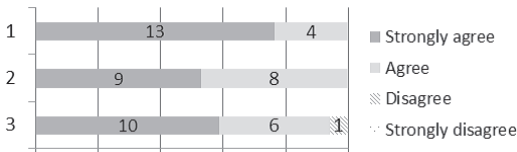


図 11 教員のアンケート結果

Fig. 11 Result of Questionnaire (Teachers).

の混乱については、学ぶ上での有意義な混乱であるとの肯定的な意見がだされた。更に討論会の後、参加者にモンサクンの利用を呼びかけたところ、13名の教員と1名の教育関係者、3名の学生に利用してもらい、アンケートを取ることができた。この内訳はアンケートの選択肢による。回答者のモンサクンの利用時間は平均10分であった。このアンケートの質問項目と結果を図11に示す。(3)に関する1件を除き肯定的意見であった。これらのことから、モンサクンをを用いた作問授業の可能性は多くの教諭らに受け入れられたと判断している。

1件の否定的意見はあったものの、おおむね演習に肯定意見が得られ、自由記述においても、タブレット利用の授業の良い例になるとの意見を頂いた。しかし肯定意見の中にも、自由記述においてタブレット及び無線LAN環境を確保する見込みがないため無理であるとのコメントはあった。タブレット及び無線LANといった情報インフラの未整備による実施困難性を指摘するコメントは自由記述において他にも幾つか見られた。これらのインフラについては現時点で直ちに整備することは難しいが、徐々に整備の方向に向かうことは疑う余地がないことである。これらの将来的に整備されるであろうインフラの上でこそ可能となる学習支援の在り方を提案するという意味で、本研究の意義は大きいと判断している。

5. む す び

本論文では、和若しくは差で解ける算数の文章題を対象とした単文統合型作問学習支援システム：モンサ

クンを、通常授業に組み込んで利用するために行った、(1)タブレット化、(2)作問状況の集計・可視化、(3)作問方法の考案、及び(4)その実践結果について報告した。これまでのモンサクンでは、既に対象領域の学習を終えている学習者を対象にシステムの授業利用を行っていたため、単元外の付加的な学習という位置づけでの利用であった。これに対して本研究では、和と差の算数の文章題を問題解決として習った後に継続して行われる学習活動としての作問となっている。

開発したシステムを用いて小学校1年生に対する作問授業を試みたところ、9時限に渡って授業を実施することができた。プレテスト・ポストテストの分析、作問ログの分析から、この作問活動が学習者の問題解決及び問題作成の能力を向上させていることが確認できた。また、学習者及び教諭に対するアンケート結果から、システムが有用なツールとして受け入れられていることが分かった。

小学校の1年生に高度な活動とされる文章題の作問活動を比較的長期間に渡って活発に行わせることに成功し、また、学習者や教諭に有用なツールとして受け入れられることは大きな成果であると判断している。しかしながら研究上としては、比較実験の実施、ログデータやテスト結果のより詳細で組織的な分析、更に文章題の構造やその解決及び作成過程のより詳細なモデル化といったことが今後必要といえる。実践面では、実施可能環境(タブレット+無線LAN)の整備と指導手順の提供が大きな課題となるが、環境整備については今後社会的に進むことが予想されるので、そのような環境において初めて実施可能となる学習法としての意義をもってくるであろうと思われる。指導手順に関しては、実践を更に重ねることで一般的な教師でも利用可能なものを整備してゆく予定である。

文 献

- [1] G. Polya, How to Solve It: A New Aspect of Mathematical Method, Princeton University Press, 1957.
- [2] N.F. Ellerton, "Children's made-up mathematics problems: A new perspective on talented mathematicians," Educational Studies in Mathematics, vol.17, pp.261-271, 1986.
- [3] E.A. Silver and J. CAI, "An analysis of arithmetic problem posing by middle school students," Journal for Research in Mathematics Education, vol.27, no.5, pp.521-539, 1996.
- [4] 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書, vol.20, no.3, pp.3-10, 2005.

- [5] F.-Y. Yu, "Scaffolding student-generated questions: Design and development of a customizable online learning system," *Computers in Human Behavior*, vol.25, Issue 5, pp.1129-1138, 2009.
- [6] 高木正則, 田中 充, 勅使河原可海, "協調的に作問する過程で競争可能なオンラインテストシステムの実装と評価," *教育システム情報学会誌*, vol.24, no.1, pp.13-25, 2007.
- [7] 平井佑樹, 樋山淳雄, "作問に基づく協調学習支援システムとその分散非同期学習環境への適用," *情処学論*, vol.49, no.10, pp.3341-3353, 2008.
- [8] 小島一晃, 三輪和久, "作問事例を用いて数学文章題を生成するシステムの実現と評価," *人工知能学会論文誌*, vol.21, no.4, pp.361-370, 2006.
- [9] A. Nakano, T. Hirashima, and A. Takeuchi, "Problem-Making Practice to Master Solution-Methods in Intelligent Learning Environment," *Proc. ICCE'99*, pp.891-898, Chiba, Japan, 1999.
- [10] 中野 明, 平嶋 宗, 竹内 章, "「問題を作ることによる学習」の知的支援環境," *信学論 (D-I)*, vol.J83-D-I, no.6, pp.539-549, 2000.
- [11] 中野 明, 平嶋 宗, 竹内 章, "演算の理解を指向した知的作問学習支援環境," *人工知能学会論文誌*, vol.17, no.5, pp.598-607, 2002.
- [12] 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.
- [13] T. Hirashima, T. Yokoyama, M. Okamoto, and A. Takeuchi, "Learning by Problem-Posing as Sentence-Integration and Experimental Use," *Proc. AIED2007*, pp.254-261, Los Angeles, USA, 2007.
- [14] 脇 浩美, 浦 智幸, 堀口知也, 平嶋 宗, "初等力学を対象とした問題変更演習支援システムの設計・開発," *教育システム情報学会誌*, vol.26, no.4, pp.329-338, 2009.
- [15] 山元 翔, 脇 浩美, 平嶋 宗, "問題変更演習への近傍選択課題の導入とその実験的評価," *教育システム情報学会論文誌*, vol.29, no.4, pp.201-206, 2012.
- [16] 倉山めぐみ, 前田一誠, 平嶋 宗, "作問学習支援システムを用いた授業実践の利用報告," *人工知能学会研究会誌, SIG-ALST-A903-14*, pp.79-84, 2010.
- [17] 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.
- [18] 横山琢郎, 平嶋 宗, 岡本真彦, "作問学習支援システムの小学 1 年生での利用報告," *教育システム情報学会誌*, vol.24, pp.68-74, 2007.
- [19] 文部科学省, "新・学習指導要領・生きる力 小学校学習指導要領解説 算数 (2)," 2008.
- [20] 松内尚久, 芝 治也, 山口 巧, 藤原憲一郎, "自発能動的な学習環境を提供する双方向型授業支援システムの実現と評価," *情処学論*, vol.49, no.10, pp.3439-3449, 2008.
- [21] M.S. Riley and J.G. Greeno, "Developmental analysis of understanding language about quantities and of solving problems," *Cognition and Instruction*, vol.5,

Issue 1, pp.49-101, 1988.

- [22] 吉田祐太, 神戸健寛, 山元 翔, 平嶋 宗, "単文統合型作問学習におけるダミーカードの自動生成とその使われ方の分析," 第 37 回教育システム情報学会全国大会, C6, pp.402-403, 2012.
(平成 24 年 12 月 28 日受付, 25 年 3 月 28 日再受付)



山元 翔

平 20 広島大学工学部第二類情報工学過程卒業。平 22 3 月同大学工学研究科博士課程前期了。現在、同大学博士課程後期在学中。知的学習支援システム、特に問題の解決・作成・変更を行うことによる学習に関する研究に従事。



神戸 健寛

平 24 広島大学工学部第二類情報工学課程卒業。現在、広島大学大学院工学研究科情報工学専攻の博士課程前期に所属。



吉田 祐太

平 24 広島大学工学部第二類情報工学課程卒業。現在、広島大学大学院工学研究科情報工学専攻の博士課程前期に所属。



前田 一誠

平 16 福岡教育大学大学院教育学研究科卒、福岡県の公立小学校教諭を 13 年勤務める。現在、広島大学附属小学校勤務、LINK 授業づくり研究会 (学校教育研究所) を立ち上げ、理事として活動中。



平嶋 宗 (正員)

昭 61 阪大・工・応物卒, 平 3 同大学院博士課程了。同年同大産業科学研究所助手。同講師, 九工大・情工助教授を経て, 平 16 より広島大学大学院工学研究科教授。人間を系に含んだ計算機システムの高度化に関する研究に従事。工博。