

教室の中の舞台：デジタルペンを用いた 双方向型授業の提案

杉原 太郎[†] 三浦 元喜^{††} 阪本康之^{†††} 國藤 進[†]

概要：本研究では、デジタルペンと無線通信機器を用いて学習者の紙への筆記を教師用計算機に集約し、集団授業におけるコミュニケーションを促進するシステムを構築・実践した。これまでの実践では、システムが備える筆記の時刻情報や無線集約による実時間性といった特長を十分に活用してこなかったため、筆記を時系列順に再生する機能と筆記認識結果を学習者に逐次フィードバックする機能、生徒を匿名化する機能をシステムに追加した。高校の数学授業で実践を行い、その後15名の生徒および1名の教師に対するインタビューを実施した。その結果、双方向性増加および机間指導の改善効果については、一定の成果が見られた。その一方で、匿名化機能や再生提示機能は際立った効果は認められなかった。

A Stage in the Classroom: Towards Facilitating Interactive Class Lectures with Digital Pens

Taro Sugihara[†], Motoki Miura^{††}, Yasuyuki Sakamoto^{†††} and
Susumu Kunifuji[†]

Abstract: We have developed a student notes sharing system to facilitate collaborative and interactive learning in a regular lecture at conventional classrooms. The system can collect online handwritten notes in a real time manner through wireless network facility. However, these advantages had not been utilized in practical sessions. To make full use of these advantages, we have added a student's note reproducing function and an automatic response function based on handwriting recognition technology. Owing to the note reproducing functions, the students can easy to review their thinking process. We interviewed fifteen students and one teacher of mathematics after three experimental lectures. As results, the system can lead to facilitate interaction of the classroom and improve the teacher's teaching process.

[†] 北陸先端科学技術大学院大学 知識科学研究科
^{††} 九州工業大学 大学院工学研究院
^{†††} 筑波大学附属坂戸高等学校

1. はじめに

学習活動の効率化や支援を目的として導入される計算機システム(学習支援システム)は、計算機の物理的形状や性能、入出力デバイスにより、支援対象となる利用者(学習者、指導者など)、利用場所、学習内容に大きな影響を与える。計算機の小型化や省電力化、無線通信技術の進歩により、タブレット型 PC や PDA、携帯電話といった小型情報機器が利用可能となり、利用場所や運用形態の自由度が高まったことにより、モバイル/ユビキタスラーニングといった考え方に基づく学習支援システムの研究が盛んに行われてきた¹⁾³⁾。

従来のモバイル/ユビキタスラーニングでは、利用者が小型情報機器が備えるタッチパネルやキーボードなどを操作しながら学習を進めていくシステムが主流である。タブレット PC やノート PC を利用した学習支援システムとして、手書き筆記を利用した小学生向け学習教材⁴⁾、大学の講義を対象とした StuPad⁵⁾や Livenotes⁶⁾、Classroom Feedback System⁷⁾、Classroom Presenter⁸⁾などが開発されている。PDA を利用したシステムとして NotePals⁹⁾や ActiveClass¹⁰⁾、SEGODON-PDA¹¹⁾などがある。また PDA におけるテキスト入力の手軽さを軽減するため、個人が入力したノートのテキストを共有する方式¹²⁾も提案されている。

しかし初等中等教育を受けている学習者にとって電子デバイスを使用して授業を受ける経験は少なく、従来型授業との親和性は低い。またタブレットやタッチパネルへの手書き入力は、紙への筆記と比べて直感性が低く、入力がしにくいという問題もある。Oviatt¹³⁾らは、数学の問題回答時のタブレット入力やタッチパネルによるコマンド選択行為は紙への筆記行為と比べ、高次の思考を妨げたり、回答に時間がかかったりすると報告している。

我々はこれまで、学習者の負担をできるだけ軽減しながらも、学習活動をなるべく詳細に取得し授業に活用することを考え、学習者が紙に書いた内容を共有可能とする教室内のコミュニケーション支援システム AirTransNote¹⁴⁾ やアノト方式を利用したデジタルペンシステム¹⁵⁾を開発してきた。一般教室での集団学習において多様な考えに触れる機会を増加させることにより、教室内のコミュニケーションを活性化し、集団学習の効果を高めることを目的とした実践を行ってきた。

しかしこれまでの実践では、学習者が紙に書いた内容をそのままプロジェクタに投影する活動しか行っておらず、書画カメラと同様の「静的な筆記提示」にとどまっていた。そのためデジタルペンを用いて収集される、時系列情報を含む「動的な筆記情報」の利点を活かしきれていなかった。また学習者の筆記を逐次集約する AirTransNote システムの特長についても、筆記内容に応じて適宜学習者にフィードバックを返すといった活動を行っておらず、実時間性を積極的に学習活動に利用しているとはいえなかった。

さらに、インタラクションの観点からは、これらのシステムが授業にもたらす効果について言及してこなかった。計算機の使用法を習熟する目的以外で情報機器が教室内で活用されるには、単なる省力化や効率化を推し進めるためではなく、学習者を中心に据えた教育のためのシステムが必須であるとの主張¹⁶⁾があり、その観点からも教師—生徒間、あるいは生徒—生徒間のインタラクションを容易にするシステムは重要である。

そこで本研究では、動的な筆記情報を活用するための「筆記の再現提示機能」と、筆記の逐次収集機能による実時間性を活用するための「筆記認識結果に基づく正解フィードバック機能」の2つの機能を強化し、プライバシー保護のため「匿名化機能」を実装した。そしてこれらの機能を利用する高校数学IIを対象とした実験授業を3回実施した。授業終了後に、15名の生徒に対してグループインタビューを行い、システムがもたらす効果について検討し、本システムのコンセプトを明示するとともに、授業に与える効能についてまとめた。

2. システムの機能

2.1 システムの概要

本システムは、(1)デジタルペンを利用し、学習者の紙への筆記活動を時刻付き筆記情報として記録する点 (2)無線通信を利用し複数学習者の筆記情報を逐次集約する点 (3) 情

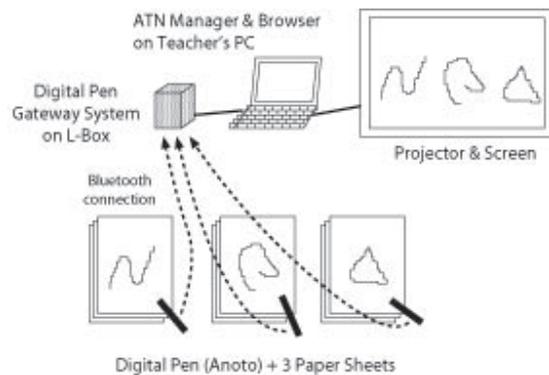


図1 システムの概要

Fig. 1 Configuration of this system

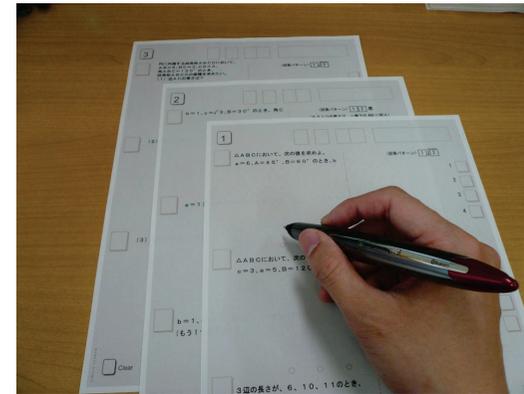


図2 アノト方式のデジタルペンおよび問題用紙

Fig. 2 An anoto digital pen and worksheets.

報を教師の下で一括管理し、必要に応じて回答を個別に、あるいは全て表示させることができる点の3つを特長とするレスポンスアナライザの一種である。従来のレスポンスアナライザとして、学習者がリモコン型のデバイスから数字や番号によって反応を返すことが可能な EduClick¹⁷⁾ が代表的である。EduClick の場合、学習者用のリモコンが小型であり手軽に運用できるという利点はあるが、学習者から収集できる反応はキー入力によるものに限られる。本システムは学習者の筆記内容をそのまま伝達できるため、回答の過程といった詳細な反応を自然に収集することが可能である。

本システムは、アノト方式のデジタルペンと NTT コムウェア(株)が開発したデジタルペンゲートウェイシステム (DPGW)を用いて構成した。その概要を図1に示す。学習者には、図2に示したような特殊なドットが印刷された問題用紙とアノト方式デジタルペン(日立マクセル製 DP-201)を配布する。教師は教師用 PC と、DPGW が動作する小型 Linux サーバ L-Box を有線 LAN で接続する。Bluetooth 通信可能なペンと DPGW を利用することにより、複数の学習者の筆記データを PDA やクレードル等を介さずに直接集約することが可能となった。デジタルペンと紙プリントのみで学習者の筆記を集約できるため、従来のシステム¹⁴⁾より運用時の手間が軽減し自由度と安定性が飛躍的に向上した。DPGW はペンから受信した筆記を HTTP で教師用 PC に送信し DB に格納する。筆記ブラウザは以前と同様に、DB に格納された筆記を読み出して提示する。生徒が確認できる画面の例は図3および図4

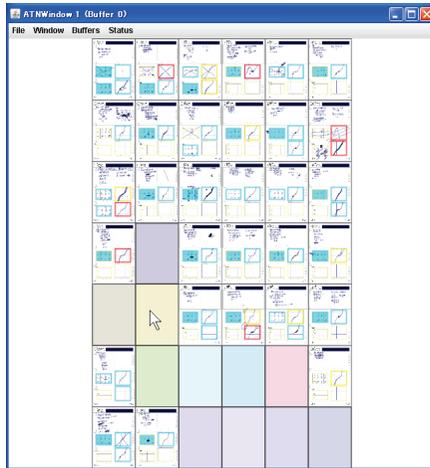


図3 生徒への表示例 (一覧表示)

Fig. 3 An example of display for viewing all students' progress.

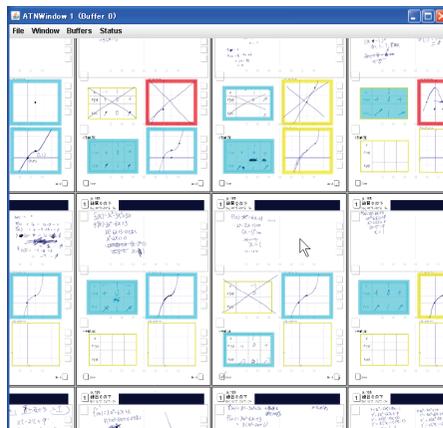


図4 特定の生徒の回答を示した表示例

Fig. 4 An example of display for reviewing particular students.

に示した。1画面に全生徒の回答を一覧表示したものが図3で、特定の生徒の回答をズー

ムした表示例が図4である。

超音波式ペン¹⁴⁾と比較すると、アノト方式のペンは、(1)ペンのみで筆記を収集できるため簡便 (2)事前の位置合わせ操作が不要 (3)筆記誤差がほとんど発生しない (4)用紙切替え操作なしで複数の用紙が扱える (5)位置合わせ操作や接続操作を学習者が覚える必要がないため導入時の説明を簡略化できる点がメリットである。

2.2 筆記の再現提示 (回答過程の提示) 機能

筆記情報に含まれている「書かれた時刻」や「順番」を考慮して表示することにより、学習者の回答過程に着目しやすくなると考えられる。そこで、筆記が行われた順番に再生しながら表示する再現提示機能を実装した。教師がメニューから機能を選択すると、注目領域内の筆記を時系列に沿って表示する。再現時には仮想的な「ペン」を表示し、筆記中と、ペンが離れ次の筆記を開始するまでの手の動きを補間してなめらかに表示する。ペンを伴って表示することにより、筆記のみを再現表示する Explanogram¹⁸⁾よりも筆記時の手の動きや様子を想起しやすくなる効果が期待できる。教師は筆記ブラウザ画面の下に表示されるスライダを左右に動かしたり、クリックしたりすることによって、再現の時刻や再生速度、再生方向を調整することができる。

2.3 正解フィードバック機能

通常の集団授業では多くの学習者が同時に学ぶため、教師が授業時間内に学習者全員の学習状況を詳細に把握したりアドバイスしたりすることは困難である。従来のATNシステムでは単純なチェックボックスを認識する機能は備えていたが、数字や文字を認識する機能を備えていなかった。そこで我々は東京農工大学の中川研究室で開発されたオンライン手書き文字認識エンジン¹⁹⁾を組み込むことにより、数字や文字、記号を表す学習者の筆記に対してフィードバックを返すことができるよう改良した。

教師はあらかじめワークシート上に回答領域を設定し、回答の文字クラス(数字, アルファベット, ひらがな, カタカナ, 記号, 漢字など)と正解データを設定しておく。文字クラスを設定することにより、文字認識の精度を大幅に高めることができる。学習者が回答領域内部に行った筆記データは、一旦バッファに蓄積される。文字認識の結果と正解データとの一致/不一致によって、プロジェクタで投影された画面上の回答領域の矩形の色を変更することができる。学習者パネルの問題回答領域に該当する範囲を正解の場合は緑色で、不正解の場合は赤色で塗るようにシステムを変更し、プロジェクタで常時提示することにより、自分の回答が合っているかどうかを生徒が知ることができるようにした。

2.4 匿名化機能

間違いを指摘されたり、未完成の回答を提示されたりすることによる苦痛を低減できるよう、匿名化機能も付与した。その水準は番号で自分を識別できるレベルとした。完全に匿名にするには、画面上に番号すら提示しなければ良い。しかし、そうすると生徒が自分の回答が表示されているフィールドを探すのに手間取ってしまうことになる。労力をこの過程に割り、集中力がそがれ、思考が妨げられるようでは本末転倒である。そのため、本システムでは番号表示する形態にとどめた。

3. システムの教育的効用：実践前に抱いていた期待

3.1 従来の板書との相違

従来の一斉授業では、学習者に回答を黒板に書かせ、それを教師が解説するといった活動が一般的に行われている。黒板を用いると、物理的な制約から「公開し取り上げることを意識して書く活動」を同時に体験できる学習者は限られるが、本システムのペン筆記集約を用いれば、すべての学習者がこの活動に同時に取り組むことができる。

また板書では通常学習者がノートでまとめた回答を取り上げるのに対し、ペン筆記集約では学習者のまとまっていない初期の思考過程や試行錯誤を取り上げるのに向いている。授業内で「生徒の回答を公開し取り上げる」活動の目的は、正解を示して答え合わせをするだけでなく、思考過程における迂回や誤答例を示すことにより、誤答した学習者および同じ誤答をした他の学習者が、同様の間違いを繰り返さないようにすることにある²⁰⁾。さらに、理解レベルがあやふやである学習者にとっても、理解不十分な点に気づくことができる契機となる。

板書の場合、教師が机間指導で発見した、取り上げたい誤答をしている生徒に改めて板書してもらっても可能ではあるが、学習者・教師ともに良い印象が残りにくい。さらに、従来のスタイルでは、生徒は正しく回答できていない場合には登壇しない、あるいは、クラスメートに正しい回答を教わった上で黒板に向かう。このような形態では、本来発見されるべき「生」の誤答は覆い隠されてしまう。たとえ本人が理解していなくとも、教師や他の生徒はそれに気づくことができず、結果として理解促進のチャンスを逸してしまうことになる。本システムを用いることにより、生徒の「生」の誤答を、教師による紹介意図の流れのなかで、余分な負担なしで取り上げることが可能となる。

多くの教師が知識伝達型授業ではなく、生徒と協働しながら対話型授業を構成したいと望んでいる。対話型授業は、生徒の授業に対する意欲や関心を喚起し、対人関係コミ

ュニケーションを深め、思考・理解を深めると期待されている²¹⁾。生徒の理解状況に応じて適切な問題設定や例示をするには、生徒が置かれた状況を正確かつ迅速に把握することが求められる。教師-生徒の関係だけではなく、生徒同士の対話を図る上でも同様である。本システムは、この状況把握を行うために有用と考えられる。

3.2 正解フィードバック機能による机間指導の改善

もう1点の大きな相違点は、教師も生徒も、机の離れた生徒の状態を把握できることである。正解フィードバック機能により、机間指導の効果を高めることが期待できる。教育工学辞典²²⁾の「机間指導」(p.137)には、机間指導の機能として以下の3つが挙げられている。

- 子どものつまづきや学習状況を把握する。(観察・実態把握)
- 個別に適切な指導助言を行う。(指導)
- クラス全体の傾向をつかみ(子どもに共通する誤りやその後の授業に取り上げる素材の発見等)、今後の授業の指導方針を立てる。(評価・計画)

机間指導の利点は、一斉授業のなかで、上記の機能に基づき、個別学習や学習の個別化・個性化を図ることができることにある。しかし机間指導ですべての生徒の状況を把握するには時間がかかるという欠点がある。また机間指導にかけられる時間は限られているため、観察・実態把握は、鍵となる生徒をあらかじめ想定しておき、その生徒が理解していればこの子も理解しているだろう、という教師の推測によって行われることもある(同辞典の「授業実施」(p.277)より)。この推測がもし間違っていた場合には、その後の指導計画に生徒の実態が反映されないことになる。

本システムの筆記ブラウザ一覧画面で提供する回答の概略(筆記の量)や、正解フィードバックにより、教師はすべての生徒の状況を短時間で効率良く把握できる。これにより教師が理解できていない生徒に着目しやすくなり、指導・評価・計画が行いやすくなる。また教師は推測と実際の回答状況を照らし合わせ、推測を適宜修正することができる。その結果、机間指導の問題点を改善し、効果を高めることが期待できる。

3.3 再現提示機能による再生刺激

再現提示機能により、従来ビデオを用いて行われていた再生刺激法²³⁾(stimulated-recall procedures)による授業内のふりかえり活動を、ペン筆記履歴によって代用することができる。ペン筆記履歴の場合、ビデオにおける映像や音声が含まれないという制限があるが、ペンを使用したすべての学習者の筆記活動に焦点を当てることが可能になる。またペン筆記はビデオよりも参照範囲を選択しやすいため、授業の流れのなかで適宜利用するの

に向いている。

4. 実践授業およびシステム評価方法

4.1 実践授業の概要

本システムの運用可能性を調査するために、A 高校において実践授業を行った。対象となったのは、高校 2 年生の数学 II の極大・極小を扱う単元であった。授業には、31 名の生徒が参加、全 3 回実施された。

授業は、教師はテキストに沿って説明を行った後、演習問題を解かせる形式で進行された。この演習問題で本システムは利用された。授業参加者全員に DPGW とのペアリングを済ませたデジタルペンを配布し、回答用紙の“SEND”ボックスを適宜タップして、筆記情報を送信するように教示した。回答用紙には、予め問題ごとに回答欄が印刷されており、生徒にはその空欄を埋めて数値を回答させたり、グラフを描かせたりした。

4.2 システム評価方法

3 回目の授業終了後に、一連の授業の印象を聞き出すためにグループインタビューを行った。インタビューイーは、3 回目の講義終了直後に謝礼を支払うことを明言した上で、募集した。計 15 名の生徒が参加を希望したため、1 チーム 5 名ずつ計 3 チームに分けてインタビューした。インタビューは、システム開発者とは別の研究者が担当した。

インタビュー実施に当たっては、

1. 研究の目的および成果発表の方法（口頭での学会発表、論文、助成金の報告書に記載されること、録音すること）
2. 同意しない場合でも不利益を受けないこと
3. 同意をいつでも撤回でき、その場合、データは破棄されること
4. 研究を進めていく中で、個人情報十分に保護されること
5. 研究の詳しい内容について知りたい場合、情報開示を求めることができることを口頭および文書で説明し、参加者の自由意思に基づいて同意書を得た。さらに、正解がある訳ではないので自由に発言すること、発言に順序はないので好きな時に好きなように発言して良いと口述した上でインタビューを開始した。

インタビュー内では、まず全員に感想を求めたのち、授業およびシステムの印象について自由に発言させた。特徴的な発言があった場合、適宜掘り下げるとともに、通常の授業と対比させる質問をした。インタビューは、目的等の説明時間を含めて約 1 時間であった。

また、教師にも同様のインタビューを実施し、システムの印象を評価させた。

獲得した音声データは、全て逐次書き起こし文を作成し、似通った発言をまとめていった。ある程度まとまりができた後、そのまとまりに命名をした。

5. システム評価結果および考察

5.1 双方向性の増加

本システムの持つ特性として最も言及されたのは、双方向性が増加したことである。ポジティブな効果として「授業に参加する姿勢の強化」がある。これは、「競争心の芽生え・強化」、「新規な授業形態・システムに対する好奇心」、「楽しみの増加」に起因するものと考えられる。

「授業に参加する姿勢の強化」を細分化すると、「覚醒度の増加」、「意欲増進」に分けられる。「覚醒度の増加」とは、すなわち普通の授業より眠くならないということである。ある生徒（C05）は、その理由について、「競争心の芽生え・強化」に言及しながら以下のように説明した。

C05: (回答を) 送ると、何番やった (何問目が終わった) と出てくるじゃないですか。何枚目やっている……。それで、なんか自分が、数字が低い (回答数が少ない) と悲しくなる (笑)。『あつ、みんなやっているじゃん』と思って。だから、寝なかった (笑)。昨日は。

B05 は、「競争心の芽生え・強化」の存在を示しながら、「意欲増進」の理由述べた。なお、I はインタビューアーである。

B05: (普段の授業では) 友達で距離の遠い人は、ノートが見られないけど、競い合うみたいな感じで、『あいつ、もう終わっているのか。じゃ、おれもやんなきゃ』みたいに、パツとやったりとか、『おれのは合っているけど、あつ、あいつは間違ってるんじゃないか』という、そういう戦いというか (笑)。

I: 戦い (笑) ?

B05: 戦いというか、競争があるので、意欲が上がるかなというのは……。

I: 競争というのは何? 何枚目まで解けているみたいな話?

B05: はい。そういう感じで、解いていくスピードとか正答率とか、たぶん犬猿の仲だ

と、本当に1問ミスただけで、そういう感じは…….

I: 負けたくないんだ.

覚醒度が増加するのは、「新規な授業形態・システムに対する好奇心」が理由であるとの典型的な回答は以下のとおりである.

A01: 最初は、楽しくて寝ない.

A02: たしかにそれはある.

A03: そう. おれもすっごいなんか Send されるたび、すっごい楽しかった.

A01: なんか新しい文法具を買うと勉強をやる気が出る. それと同じで、新しい環境で勉強するというのは、新鮮な気持ちになって、勉強意欲がそそられるというか…

目新しさに関しては、総じてポジティブに捉えられていた一方で、これから来る楽しさも一時的な効果に過ぎないという意見もあった.

ネガティブな効果には、「失敗に対する羞恥心の増加」があった. これはほとんどの生徒が言い及んでおり、重要な要素であると考えられる. 悩んでいることが露見することへの不安や、進捗状況の遅れから派生する焦りなどについてコメントがあった.

B02: 普段の授業とは、やっぱり書いて、自分が書いたものが前に出れば、みんなにそれがいつもは全然見られない、前に出なければ見られないものが、見られちゃったりみたいなそんな感じは、若干でもなんか出づらくなった感じは(苦笑)、自分の問題が、こう……なんだ?

B03: 悩んでいるとか、そこの方程式とかが、バツと……

B02: そう(苦笑). 全部ばれるから.

I: 生徒の人に見られるのが嫌なのか、先生にも見て欲しくないの?

A04: なんか細かい計算式を見られたくないんですね.

A03: それはあるね. 恥ずかしいよね. だから、おれ、ノートにちよろちよろ書いてるんだ.

回答を見ることについては、自分のものは見られたくないが、他人の回答は見たいというジレンマがあるとも発言されていた. この欲求も、「授業に参与する姿勢の強化」に

貢献していたと思われる.

以上見てきたように、このシステムで目指していた双方向性の増加については一定の成果が挙げられたと考えられる. 失敗を見せられることを生徒は望んでいないが、生徒の「生」の誤答を開示することの意義を天秤に載せてみると、誤答を示すことによる教育効果を優先するほうが結果的に生徒のためであると考えられる. 精神的な苦痛を低減させるために導入した匿名化機能については、30名規模の集団であれば誰の回答かは推測可能であるとのコメントが大勢を占めており、十分な効果が得られなかった. 精神的苦痛の緩和は、今後、システムの運用方法でカバーする仕組みを考案する必要がある.

5.2 授業の効率化・省力化・再生刺激の効果

本システムで目指した机間指導の改善には、教師から「生徒状況把握の容易化」の回答があった. 生徒同士でも、離れた机の生徒の様子を把握できたコメントされたり、教師が状況を把握しやすくなったのでは推測されたりしたことから、対話授業のための第一段階である状況把握について、一定の効果があったと考えられる.

さらに、通常の板書では、演習問題の回答をさせる際には、(1) 回答者の選定、(2) 回答者の移動、(3) 回答者の板書、(4) 教師による評価と解説というステップを経なければならぬために時間が消費される. 翻って本システムでは、教師が選んだ回答がすぐさま画面に表示されるため、(2)および(3)の時間を短縮できると述べられた.

ただし、今回の実践授業では、教師がシステムに不慣れであったため、実際にはまごついて授業進度が遅くなった事実があった. そのため、授業が通常より遅いという印象をもった生徒も存在した.

再生提示機能により再生刺激については、目新しいものであることは認めた上で、効果はないと述べられた. ただし、この効果については、印象だけ判断できるものではなく、テスト法を用いて効果測定を行う必要がある.

5.3 システムへの不満・不安

本システムの不安は、個人が特定されることによるプライバシー侵害に対するものであった. これについては、今回の匿名化機能を強化したり、生徒に回答の中身は見せず、進捗状況だけ見えるようにするなどの対策が必要である.

他には、本システムの本質的な欠陥ではないが、ペンの持ちにくさやペン自身がボールペンであるために失敗すると書き直せないことに対してクレームがあった. これらに対応するために、デバイス自身に改良を加えなくてはならないと考えられる.

また、ごく少数ではあったが、このシステムで行ったように、回答が全員に開示され

ることを強く拒否していた生徒がいたことは、書きとめておかななくてはならない。その要因が何であるのかは現状では判然としてない。このような要望をもった生徒にシステムが対処すべき機能を実装するためにも、またその理由を明らかにするためにも、今後聞き取り調査を続ける必要がある。

6. まとめと今後の課題

本研究では、デジタルペンを用いて生徒の状況を集約して一括表示できるシステムを開発し、動的な筆記情報を活用するための「筆記の再現提示機能」と、筆記の逐次収集機能による実時間性を活用するための「筆記認識結果に基づく正解フィードバック機能」の2つの機能を強化し、プライバシー保護のため「匿名化機能」を実装した。そしてこれら高校数学IIを対象とした実践授業を3回実施した。授業終了後に、15名の生徒に対してグループインタビューを行い、システムがもたらす効果について検討した。

その結果、本システムで目指した双方向性増加および机間指導の改善効果については、一定の成果が見られた。その一方で、匿名化機能や再生提示機能は際立った効果は認められなかった。

双方向性増加および机間指導の改善効果が何に依拠したものであるかを考察すると、それは生徒の意識のベクトルの変化であると考えられる。通常の授業では、生徒の意識は教室前部の教師に集中している。しかしこのシステムを利用すると、前のみを見つめるだけで教室の隅々の状況を把握することが可能となる。それは、生徒たちの発言からも明らかである。5.1に示した回答例の中で、該当する部分に下線を引いている。これを見ると、生徒の意識が他の生徒に向かっていることが読み取れる。

この状態を、本研究では舞台のメタファーで説明することができると結論付けた。双方向性が増加した原因は、生徒が他の生徒の様子を手取るように理解できるようになったことであり、それは教室内の見晴らしを良くしたことである。さらに、通常の授業では、生徒が壇上に上るのは回答者に選ばれたときのみであるが、このシステムでは常に全員がそれと同じ状態となる。言わば、通常の授業では生徒は聴衆であるのに対し、本システムでは全員が役者・演者と化すのである。

しかし、舞台の上で生徒たちがどのように振る舞うかについては、まだ調査が行われていない。従って、今後、エスノグラフィックな方法論やビデオ観察、インタビューを通して、このシステムが教育与える影響を明らかにしていく必要がある。特に、効果を測定する上では、短期的な効果だけではなく、学習意欲の継続期間といった中長期にわたる調査

が必要となる。

さらに、ケースの数をふやしたり、対象となる教育課程を変更したりし、本研究で得られた結果の妥当性を高めるとともに、生徒・児童・学生たちに与える影響について知見を積み重ねていくことが重要である。

参考文献

- 1) Ogata, H. and Yano, Y.: Supporting Knowledge Awareness for a Ubiquitous CSCL, Proceedings of eLearn 2003, pp.2362–2369 (2003).
- 2) Yang, J. C. and Chen, C. H.: Design of Inquiry Learning Activity Using Wireless and Mobile Technologies, Proceedings of ICALT 2006, pp.398–402 (2006).
- 3) Yatani, K., Sugimoto, M. and Kusunoki, F.: Musex: A System for Supporting Children's Collaborative Learning in a Museum with PDAs, Proceedings of WMTE 2004, pp.109–113 (2004).
- 4) Iwayama, N., Akiyama, K., Tanaka, H., Tamura, H. and Ishigaki, K.: Handwriting-Based Learning Materials on a Tablet PC: A Prototype and Its Practical Studies in an Elementary School, Proceedings of Ninth Int. Workshop on Frontiers in Handwriting Recognition (IWFHR04), pp.533–538 (2004).
- 5) Truong, K.N. and Abowd, G.D.: StuPad: Integrating Student Notes with Class Lectures, Extended Abstracts of CHI, pp.208–209 (1999).
- 6) Kam, M., Wang, J., Iles, A., Tse, E., Chiu, J., Glaser, D., Tarshish, O. and Canny, J.: Livenotes: A System for Cooperative and Augmented Note-Taking in Lectures, Proceedings of CHI 2005, pp.531–540 (2005).
- 7) Anderson, R.J., Anderson, R., Vandegrift, T., Wolfman, S. and Yasuhara, K.: Promoting Interaction in Large Classes with Computer-Mediated Feedback, Proceedings of CSCL 2003 (2003).
- 8) Anderson, R.J., Hoyer, C., Wolfman, S.A. and Anderson, R.: A Study of Digital Ink in Lecture Presentation, Proceedings of CHI 2004, pp. 567–574 (2004).
- 9) Davis, R.C., Landay, J.A., Chen, V., Huang, J., Lee, R.B., Li, F., Lin, J., III, C. B.M., Schleimer, B., Price, M.N. and Schilit, B.N.: NotePals: Lightweight Note Sharing by the Group, for the Group., Proceedings of CHI '99, pp.338–345 (1999).
- 10) Ratto, M., Shapiro, R.B., Truong, T.M. and Griswold, W.G.: The ActiveClass Project: Experiments in Encouraging Classroom Participation, Proceedings of CSCL 2003 (2003).
- 11) Yoshino, T. and Munemori, J.: SEGODON: Learning Support System that can be Applied to Various Forms, E-Education Applications: Human Factors and Innovative Approaches (Ghaoui, C., ed.), Information Science Publishing, pp.132–152 (2004).
- 12) Singh, G., Denoue, L. and Das, A.: Collaborative Note Taking, 2nd IEEE Int. Workshop on Wireless and Mobile Technologies in Education (WMTE'04), pp.163–167 (2004).
- 13) Oviatt, S., Arthur, A. and Cohen, J.: Quiet Interfaces that Help Students Think, Proceedings of UIST 2006, pp.191–200 (2006).
- 14) 三浦元喜, 國藤進, 志築文太郎, 田中二郎: デジタルペンと PDA を利用した実世界指向イン

- タラクティブ授業支援システム, 情報処理学会論文誌, Vol.46, No.9, pp.2300-2310 (2005).
- 15) Miura, M., Kunifuji, S. and Sakamoto, Y.: Practical Environment for Realizing Augmented Classroom with Wireless Digital Pens, Proceedings of the 11th International Conference on Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems (KES2007), Italy, pp. 777-785 (Part III, LNAI 4694), September (2007).
 - 16) Christensen, C.M., Johnson, C. and Horn, M.: Disrupting Class: How Disruptive Innovation Will Change the Way the World Learns, Mcgraw-Hill, (2008).
 - 17) Huang, C. W., Liang, J. K. and Wang, H. Y.: EduClick: A Computer-Supported Formative Evaluation System with Wireless Devices in Ordinary Classroom, Proceedings of Int. Conference on Computers in Education, pp.1462-1469 (2001).
 - 18) Pears, A. N. and Erickson, C.: Enriching Online Learning Resources with "Explanograms", Proceedings of ISICT 2003, pp.261-266 (2003).
 - 19) Nakagawa, M., Akiyama, K., Tu, L.V., Homma, A. and Higashiyama, T.: Robust and Highly Customizable Recognition of On-Line Handwritten Japanese Characters, Proceedings of the 13th Int. Conf. on Pattern Recognition (ICPR'96), Vol.3, pp.269-273 (1996).
 - 20) 渡辺直美: 子どものつまずきを生かした学習指導-授業過程におけるつまずきの発見と手立て-, 日本数学教育学会誌, Vol. 66, No. 4, pp. 78-83 (1984).
 - 21) 丸野俊一: 授業の効果を上げる, 高垣マユミ編「授業デザインの最前線」, 北大路書房, pp. 123-157 (2005).
 - 22) 日本教育工学会 (編): 教育工学辞典, 実教出版(2000).
 - 23) 吉崎静夫, 渡辺和志: 授業における子どもの認知過程-再生刺激法による子どもの自己報告をもとにして-, 日本教育工学雑誌, Vol.16, No.1, pp. 23-39 (1992).