

# Practicing on Stage: デジタルペンシステムによる授業過程の見える化とインタラクションの増加

杉原 太郎<sup>†</sup> 三浦 元喜<sup>††</sup> 國藤 進<sup>†</sup>

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、システムの持つインタラクティブシステムとしての効用を分析してこなかったため、筆記認識結果を学習者に逐次フィードバックする機能を用いて高校の数学授業で実践を行い、その後 15 名の生徒に対してインタビューを実施した。その結果、授業の演習過程の透明性が増したとともに、双方向性増加および机間指導の改善効果が見られた。結果を基に考察を行い、教室内の活動を舞台化のアナロジーで捉えることにより、システムがもたらすインタラクションを理解することができた。

## Practicing on Stage: Increasing Transparency and Interaction in Class Activity with Digital Pen System

TARO SUGIHARA,<sup>†</sup> MOTOKI MIURA<sup>††</sup> and SUSUMU KUNIFUJI<sup>†</sup>

In this paper we described the concept of developing an interactive education system and understanding the actual activity inside the classroom. We developed an Anoto-based digital pen system and conducted a case study on three mathematics lectures in a high school, with participatory observation. After these practice lectures, focus group interviews were scheduled for the students in addition to a separate interview with a teacher; these interviews revealed the effects of our system. We concluded from the series of the investigations that the system was able to enhance interactive area of individual students, increase the transparency of class activities, raise students' motivation levels, and fortify the educational effects. Finally, a "stage" concept was generated from these results.

### 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、計算機の物理的形狀や性能、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<sup>1)~3)</sup>。

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<sup>4)</sup>、大学の講義を対象とした StuPad<sup>5)</sup> や Livenotes<sup>6)</sup>、Classroom Feedback System<sup>7)</sup>、Classroom Presenter<sup>8)</sup> などが開発されている。PDA を利用したシステムとして NotePals<sup>9)</sup> や ActiveClass<sup>10)</sup>、SEGODON-PDA<sup>11)</sup> などがある。また PDA におけるテキスト入力の負荷を軽減するため、個人が入力したノートのテキストを共有する方式<sup>12)</sup> 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。Oviatt 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

<sup>†</sup> 北陸先端科学技術大学院大学 知識科学研究科  
Japan Advanced Institute of Science and Technology

<sup>††</sup> 九州工業大学 大学院工学研究院  
Kyushu Institute of Technology

と報告している<sup>13)</sup>。

我々はこれまで、学習者の負荷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 AirTransNote<sup>14),15)</sup> やアノト方式を利用したデジタルペンシステム<sup>16)</sup> 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」ととどまっていた。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、インタラクシオンの観点からは、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<sup>17)</sup> 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オンを容易にするシステムは重要である。

そこで本研究では仮説生成型研究のスタイルを採り、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つの機能を強化するとともに、インタラクシオンの観点から効果を分析した。この機能を利用する、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、本システムが授業に与える効能についてまとめ、インタラクシオンの様相をコンセプトとして提案した。

## 2. デジタルペンシステム

### 2.1 システムの概略

本システムの概略を図1に、使用の様子を図2に示した。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

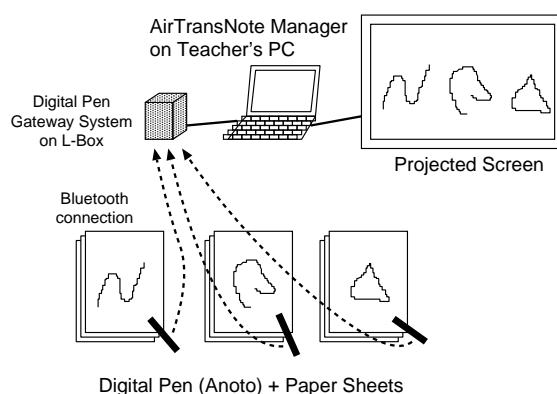


図1 システムの概要

Fig. 1 Configuration of this system

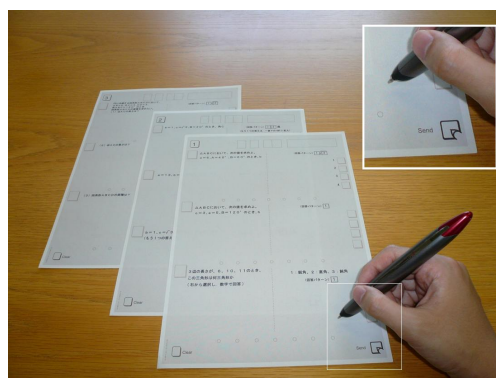


図2 アノト方式のデジタルペンおよび問題用紙

Fig. 2 An Anoto digital pen, worksheets and 'send' box.

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 EduClick<sup>18)</sup> と比較すると、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。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

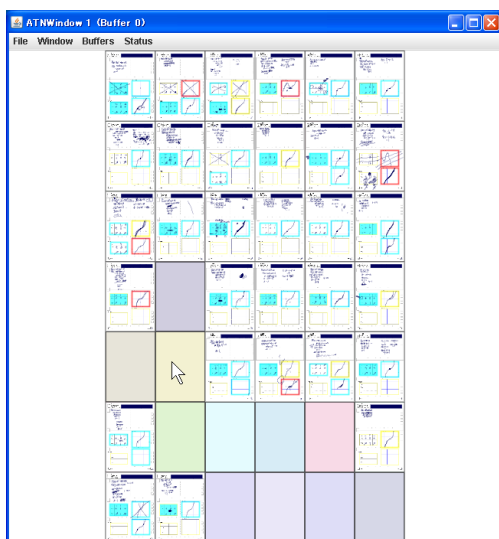


図 3 生徒への表示例（一覧表示）  
Fig. 3 View of all students' progress.

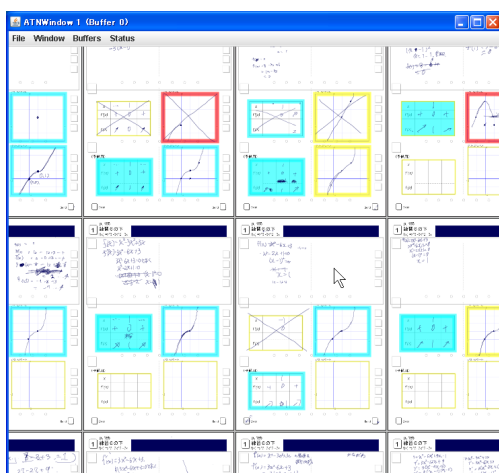


図 4 特定の生徒の回答を示した表示例  
Fig. 4 The zoomed view of the progress of a particular student.

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<sup>14),15)</sup>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 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<sup>14),15)</sup>と比較すると、アノト方式のペンは、

- (1) ペンのみで筆記を集約できるため簡便
  - (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 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。そこで我々はオンライン手書き文字認識エンジン<sup>19)</sup>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。

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。

## 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・机間指導との相違

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<sup>20)</sup>。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うこと

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、生徒と協同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<sup>21)</sup>。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<sup>22)</sup>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ー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と考えた。

## 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・分析方法

著者らは実践授業に立ち会い、生徒らと先生の行動をつぶさに観察し、ノートに記入した。併せて、ビデオカメラにより授業の様子を撮影した。また、各授業終了後に、システムを用いて全員にシステムの印象について自由記述で意見を書かせた。

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。発言しやすい雰囲気になるよう、チームは友人関係にある者同士を中心に組んだ。インタビューは、システム開発者（第2著者）とは別の研究者（第1著者）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。

インタビューでは、手始めに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。併せて、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。また、各授業終了後に収集した意見を適宜質問に組み込んだ。

獲得した音声データは、全て逐次書き起こし、M-GTA (Modified Grounded Theory Approach) のプロセスに沿ってシステム利用に関する意識・行動・印象についての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(概念)に命名をした。その後、命名された概念ごとにその定義と当該概念を説明する具体例を分析ワークシートに書き加えていった。このとき、具体例が少ないものについては、概念は有効ではないと判断し、他の概念と統合した。この過程を、新しい概念が生成されなくなるまで繰り返し続けた。最後に、概念間の関係を関係図としてまとめた。

## 5. 結果

### 5.1 生成された概念

前節で説明した分析を3回繰り返したところ、新しい概念は生成されなくなった。この時点での概念数は22個であった。さらに、対極例や類似例や、通常の授業についてのコメントと比較することで、解釈が偏らないように分析を進めた。また、概念からシステムの誤作動など運用に関わるものを除き、インタラクションにまつわるもののみを取り上げたところ、最終的に概念数は10個になった。これ以上精緻化できない概念群ができたこの段階で、理論的飽和に達したと判断した。生成された概念の関係を図示したものが図5である。

### 5.2 各概念の意味

#### 5.2.1 自分の状況の相対化

システム利用時に、生徒は自分の回答が合っている

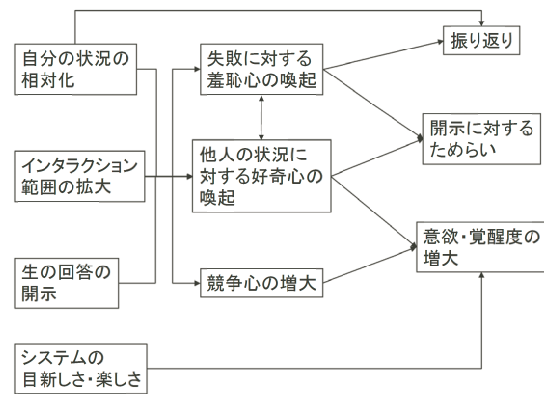


図5 生成された概念の関係

Fig. 5 Relationship among generated concepts.

かどうかリアルタイムに確認できるとともに、他の生徒がどの程度進んでいるか、どの程度合っているかを見ることができる。従って、通常の授業よりも自分が置かれた状況が相対化しやすい。

#### 5.2.2 インタラクション範囲の拡大

普通の授業であれば、前後左右の範囲でのみ生徒同士のコミュニケーションが発生するが、このシステムであれば全員とインタラクションできたと生徒たちはコメントした。

#### 5.2.3 生の回答の開示

普通の授業であれば、正解の自信のある生徒しか演習の回答者に立候補しないが、このシステムであれば全員候補になると指摘されていた。

#### 5.2.4 システムの目新しさ・楽しさ

生徒たちは、本システムを新しい文房具のようにとらえていた。また、彼ら・彼女らが普段接する情報機器よりも高度な技術であると認識しており、その利用を楽しんでいた。

#### 5.2.5 失敗に対する羞恥心の喚起

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。問題が解けず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、字の汚さを指摘されることに対する恐れなどについて扱う概念である。

#### 5.2.6 他人の状況に対する好奇心の喚起

これも多くの生徒が指摘していたことに対する概念である。生徒たちは、他の級友が間違っている場合に指摘したり、自分が行き詰った場合に級友の解法を参考にしたりしたいので、他人の回答を見ることには興味があると述べていた。この概念は、羞恥心の喚起と対極にある概念である。

### 5.2.7 競争心の増大

生徒は、普通の授業では見ることができないライバルの回答やその進捗状況を確認した際に、相手に負けたくないと感じていた。これはそれを表す概念である。

### 5.2.8 意欲・覚醒度の増大

普通の授業では眠ってしまう生徒も、このシステム利用時には眠くならないと言及していた。また、勉強意欲が出てくると述べた生徒もいた。

### 5.2.9 開示に対するためらい

システムがもたらすネガティブな影響のひとつがこの概念で表現されている。自らの進捗状況が開示されることに対して、ためらいがあると多くの生徒が述べていた。

### 5.2.10 振り返り

他人の視線を意識することで、自分の置かれた状況を省みるとの発言もあった。たとえば、普段であればなおざりに描くグラフでも、開示され級友に間違いを指摘されると「直さなければ」と意識するとコメントされていた。

### 5.3 インタビュー結果のまとめ

本システム利用に伴い、演習過程の透明性が増加し、インタラクション範囲が拡大し、生徒は自分の置かれた状況を相対化しやすくなった。これらはポジティブに競争心の増大を引き起こした。その一方で、失敗に対する羞恥心も呼び起こされることになった。これと他人の様子を伺いたいという思いは、振り返りや開示に対するためらい、意欲の増大へとつながった。自分の回答は見られたくないが、他人の回答は見たいというのはジレンマである。また、競争心と他人の回答に対する好奇心、システムの目新しさと使用時の楽しさは、生徒たちの眠気を吹き飛ばすことにも成功した。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、この楽しさも一時的な効果に過ぎないという意見もあった。

### 5.4 インタビュー結果の裏付け

インタラクション範囲の拡大は、観察でも確認された。実践授業中に、ある生徒が席の離れた別の生徒の間違いを指摘するシーンがあった。これについて、生徒たちはインタビュー内でそのような行為は、通常の授業では見られないと述べた。

生徒たちの授業参加態度が通常と大きく異なることは、教師へのインタビューからも裏付けられた。教師は「普段はどんよりした雰囲気だが、この実践授業では意気揚揚としていた」と言及があった。また、間違いが指摘されたシーンについて、普段間違いの少ない生徒であるし、システムがなければ気付かなかつたで

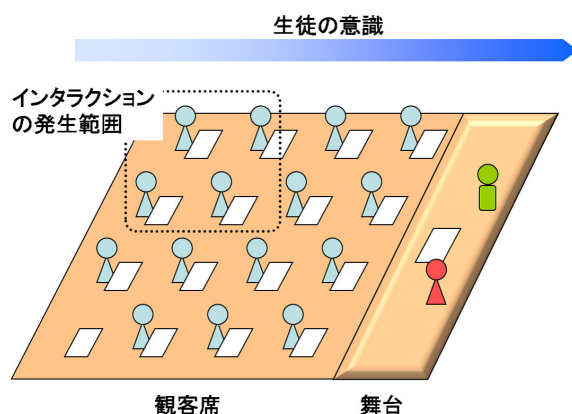


図 6 従来の一斉型授業（生徒間インタラクション少，お披露目型演習）

Fig. 6 Interaction and attention in ordinary styled classroom.

あろうとコメントされた。

さらに、生徒同士での指摘による学びがあるほうが望ましいとし、全く間違いのない回答者が登壇するよりも間違いのパターンを共有するために生の回答が提示される本システムは良いと述べた。状況把握は通常の授業より容易であったとされ、正誤判定機能についても「取りあえず終わったから次の問題にいこうかな」という感じで、疑心暗鬼のまま次の問題に進むことが無くなるために良いと評価された。

以上の結果から、著者らが実践授業の前に抱いていた効果に対する期待はかなえられたと結論付けられる。

最後に、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はっきりとしてない。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、今後も調査を続ける必要がある。

## 6. 考察：教室全体の舞台化

本章では、教室内活動を支援するインタラクティブなシステム開発のための考察を行う。

従来の一斉授業を模式的に表したものが図 6 である。生徒の意識は黒板に向いており、生徒間のインタラクションは限定的である。また、演習の回答者はお披露目のように間違いのない回答を書く。これは、黒板の付近のみが舞台であり、生徒たちは観客席にいる状態のアナロジーとして捉えることができる。このとき、回答者は十分に訓練された役者であり、残りの生徒は観客として授業に参加するのである。

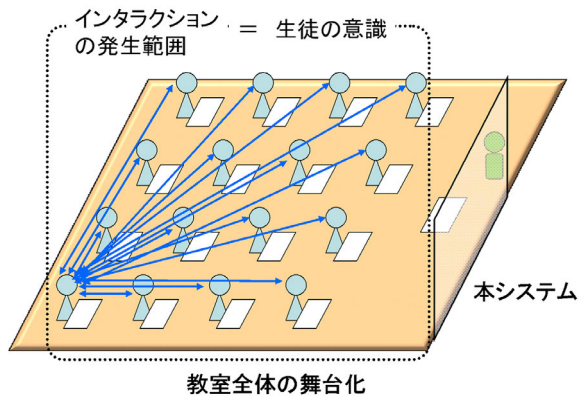


図7 本システムでの講義（生徒間インタラクション増加，教室全体が舞台化された演習）

Fig. 7 Changes in interaction and attention with the system.

一方，本システムでは，図7に示したように生徒間のインタラクションは増大した．演習の進捗状況が時々刻々と映し出され，自分の回答の正誤が即座にフィードバックされるため，生徒は主体的に参加する気になったと考えられる．さらに，全員の状況が一覧表示されるため，他人の視線を意識せざるを得ない．これは，観客席が存在せず，教室全体を舞台にしたと考えられる．生徒は級友が舞台の上で稽古している様を見ることができ，級友からも見られることになる．意欲・覚醒度を増大させ，振り返りをさせたことは教室を舞台化させることの意義となると考える．

続いて，教師にとって本システムを利用することの意義を述べる．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．結果で示した通り，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．

多くの教師が対話型授業を望んでいることについてすでに述べた．そのための状況把握がしやすくなったこと，生徒同士が教えあう環境構築の可能性を示したことは本システムの大きな効果である．舞台化は，対話型授業を推進するためにも有用である．

本システムに対する生徒の不安は，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，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したりするなどの対策が必要である．舞台のアナロジーで考えると，役名のない役を生徒が選べるようにし，また

そのような役柄に対しても教師が存在理由を与えやすくするための機能が必要と言うことになる．

多人数での劇は，主人公だけで成り立たない．それぞれの役者が自分の役割を認識し，正確にこなしてこそ，素晴らしい舞台は完成する．現状のシステムは，単に稽古を級友に開いたというレベルにとどまっているが，舞台のアナロジーを教室内活動に適用するためには本番，すなわち演習の回答と質疑応答の時間にも焦点を当てて調査・分析を進めていかなくてはならない．

## 7. おわりに

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，筆記認識結果に基づく正解フィードバック機能を用いて高校数学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，教室を舞台化という新たな授業スタイルの提案に繋がった．

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，種々の調査を通して，この舞台化が教育に与える影響を明らかにしていく必要がある．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重要となる．

さらに，教室を舞台化するためにどのような機能が必要なかを検討し，実装につなげていかなくてはならない．現在の仕様では，すべての生徒が舞台の上では主人公であるとともに，脇役でもある．役割を適宜切り替えられるように舞台演出装置としての機能を実装したり，舞台監督である教師が演出しやすくなるような機能を付け加えるなどの拡張が考えられる．

謝辞 本研究の一部は，(20680036) は文部科学省科学研究費補助金（課題番号 20680036）の支援によるものである．ここに記し，謝意を表す．また，多忙な時間を割いて実践とインタビューにお付き合いいただいた，高校教員と生徒諸氏に深く感謝する．

## 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) Miura, M., Kunifuji, S., Shizuki, B. and Tanaka, J.: AirTransNote: Augmenting Classrooms with Digital Pen Devices and RFID Tags, *Proceedings of IEEE Int. Workshop on Wireless and Mobile Technologies in Education (WMTE2005)*, pp.56–58 (2005).
  - 15) 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).
  - 16) 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)*, pp. 777–785 (2007).
  - 17) Christensen, C.M., Johnson, C.W. and Horn, M.B.: *Disrupting Class: How Disruptive Innovation Will Change the Way the World Learns*, McGraw-Hill (2008).
  - 18) 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).
  - 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). (in Japanese).
  - 21) 丸野俊一: 授業の効果を上げる, 授業デザインの最前線 (高垣マユミ, 編), 北大路書房, pp. 123–157 (2005).
  - 22) 日本教育工学会 (編): 教育工学事典, 実教出版 (2000).