

プライベートネットワークとタブレットPCを活用した 携帯可能な教育用リアルタイム調査・分析システムの開発

古川 健一^{※1}

大後 忠志^{※2}

宇藤 茂憲^{※2}

福岡教育大学 教育学部

(平成25年9月30日受理)

Development of the portable real-time survey & analysis system for educational aids
using a private network and tablet PC.

Kenichi FURUKAWA

Tadashi OHGO

Shigenori UTOH

Department of Education, Fukuoka University of Education

キーワード：ICT活用, 教育の質改善, 双方向性情報交換, アクティブラーニング, タブレットPC,
携帯可能なプライベートネットワーク, リアルタイム調査・分析, クリック機能,
多機能な調査

概要

設定したテーマに関する受講生の知識量や理解度に大きな分散がある集団に対して公開講座や研修を実施するとき、或いは受講生の状況を即座に把握して講義内容を修正しながらフレキシブルに展開させたいときなど、適時、かつ短時間で調査・分析をおこなって受講生の理解度や意識を定量的なデータとして把握しながら講義をおこなえないかとの発想で開発を試みたのが、“教育用リアルタイム調査・分析システム”である。場所を選ばずして本システムを活用できるように、データベースサーバーとWi-Fiアクセスポイント(1台のWi-Fiでアクセスポイントは50)でプライベートネットワークを構成して本システムを持ち運び可能とし、また誰もが簡単に操作できるように入力端末としてタブレットPCを用いた。回答形式を4種類とすることで、多機能性および様々なアンケート形式に対応する柔軟性をもたせた。データ収集と同時に分析を可能(例、分布をグラフ表示)とし、またWindowsOSやMacOS上の集計算ソフトで解析できるように収集データの共有化をおこなった。本システムの不具合チェックやシステムの操作性能を確認するモニターを実施したときのデータを提示する。

1. はじめに

大学への入学者の学力が多様化し、また運営上のコスト面から数百人規模の大教室講義の多いアメリカでは、これらの教育事情を補う手法の1つとしてクリッカーを用いた講師と受講者の双方向性情報交換をおこなう教育実践が1990年代頃から図られており、また、日本においても2007年辺りから、クリッカーを導入して大学教育改善の試みがおこなわれている(例えば、参考文献1, 2, 3など参照)。講義も数十人以上の規模になると受講生と意思の疎通を図りながらおこなうこともなかなか困難で、受講生の理解度に関しては講師がおよその見当をつけながら講義をすすめることになる。そこで、クリッカーによる、或いはWeb活用⁴⁾による調査・分析システムを使用することにより、講師が受講生の理解度をリアルタイムにある程度測ることが可能となり、またこれらの手法を用いて客観的データに基づいた教育効果の研究が進展するなどの

※1 理科教育講座 教育工学教室

※2 理科教育講座 物理学教室

期待も高まっている。これら調査システムを用いた双方向性の講義形式では受講生の積極性を促し、受講するモチベーションが高揚するなど、講義そのものが活性化する等々の報告もある。⁵⁾しかし、質問はクイズ形式となりがちで、また受講生の回答も自己申告であるが故にその検証もままならず、データの信頼性が問題となるケースも生じると思われる。このような欠点を補うため、複数の項目から単一選択する回答形式のみの方式から、自由記述（タッチパネル式キーボード入力）やタッチペンによる手書き入力などで回答機能を高めた“教育用リアルタイム調査・分析システム”を開発した。システムがこれらの機能を有することで、調査・分析の質の向上を図り、研修および大学での講義の教育効果の向上や、定量的データに基づいて教育改善の方向性を探ることができると考えている。

本報告では、ICT活用⁶⁾による大学教育の改善を視野に入れて、物理学領域の講義・演習・学生実験で本システムを活用し、自然科学の学習プロセスを検証する試みを取りあげてみる。実験で確認しながら基本原理や法則および思考法をステップアップして修得する自然科学の学習では、基本原理を学ぶ段階でのつまづきが次のステップへの展開を困難にしているケースが見受けられる。思考展開を困難としている基礎事項欠落の指摘、或いは基本的概念の再構築の必要性を定量的なデータに基づいて分析するなどして、より効果的な学習プロセスの構築で、或いはつまづき改善の試みで活用できるものと考えている。本システムの操作性やデータ収集および解析手順を再検討するためにおこなった本学の学生を対象としたモニターでのデータを示して適用例を紹介する。

2. システムの構成と操作手順

2-1. システム設計とシステムの概要

2-1-1. システム設計

リアルタイム調査・分析システムの機能を実現する装置としては、クリッカーと呼ばれる無線小型専用端末と受信用パソコンで構成されるシステムが代表的である(図1)。^{1~3)}講師の質問に対して、あらかじめ準備された回答番号のボタンをクリックし、端末ごとの回答を無線で送信して受信用パソコンでリアルタイムに処理するものである。この方式では、決まった質問に対する回答を集計する点においては利便性が高いが、受講者自身の自由記述による回答や観察結果や実験データ等を比較して回答する場合には自由度が低く、専用端末の機能不足が否めない。管理面においては、専用サーバーを運用する必要がないため、移動した先で調査・分析できる点では便利であるが、電池交換等の無線小型専用端末の管理をすべて手動で行わなければならない、端末台数が増えるほど負担が大きくなる。

一方、情報通信技術の進展により、近年、大学を中心に行われている携帯電話やパソコンのWeb

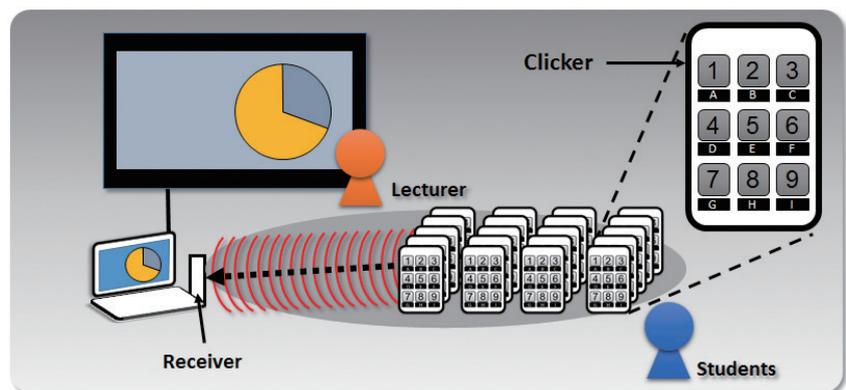


図1 従来の調査・分析システム（クリッカー型）

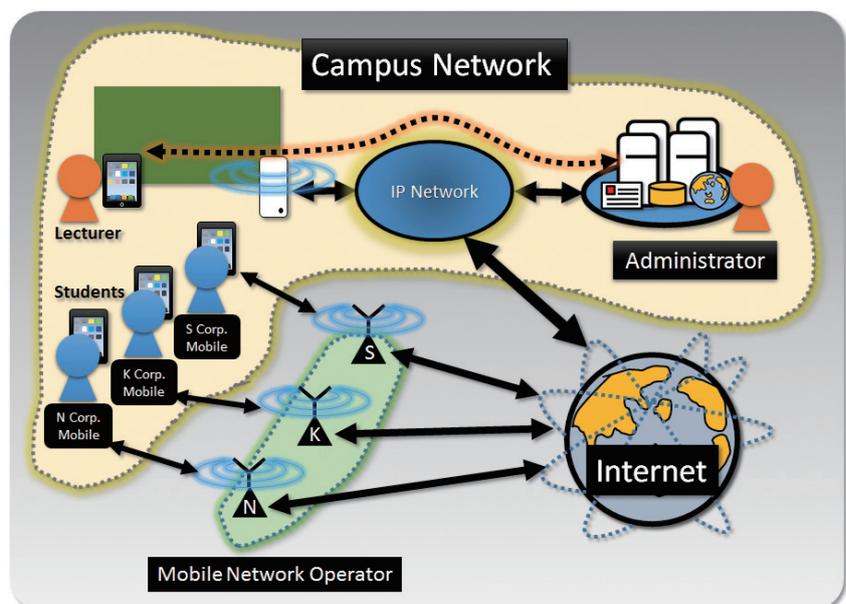


図2 従来の調査・分析システム（Web型）

ブラウザをベースとした授業評価システムがある。これは、専用のシステムを構築したもの⁷⁾やeラーニングシステムのアンケート機能を利用したものが見られるが、いずれの場合も全学的に利用することが前提で構築されている場合が多く、その結果、システムそのものが大規模サーバー、大規模ネットワークとなり、専任スタッフの支援がなければ管理・運用が難しい。また、回答を行う端末は受講者の携帯電話や通信機器等を使用するため、その種類も様々であり、すべての端末に対応したシステムを維持・管理することが将来的に負担になる。特に受講者に対しては、図2に示すように教室内で実施する調査の場合でも、各受講者が契約する通信事業社の通信網を利用するため、通信費用の負担を強いることになる。更に、通信トラブルが発生した場合には、受講者間での差が生じることになり、定常的に授業の中で使用できない場合も想定される。

以上のことから、本リアルタイム調査・分析システムにおいては、以下の点を考慮してシステム設計を行った。

- ア. いつでもどの教室でも実施できるように移動可能な小規模な専用サーバーを中心にネットワークを構成し、専用サーバーで入力端末の管理運用もできること
- イ. 回答は、従来の単一選択方式に加えて、入力端末の性能を活かした多様な回答方法を選択できること
- ウ. 入力端末は、講師用、受講者用のどちらでも使用でき、また専用サーバーを意識せずに利用できること
- エ. 受講者所有の端末や契約通信網を必要としない利用形態が可能なこと
- オ. 回答や調査・解析の際に特別なリテラシを必要とせず、活用できること

具体的には、教室内で実施できるように、インターネットから切り離されたプライベートネットワークを構築し、その中で簡単に管理運用できる専用サーバーを、また入力端末としてタブレット PC を用いることとした。タブレット PC は、近年、従来のパーソナルコンピュータ（以下、パソコン）に代わる端末として普及している機能性・操作性に優れたものであり、各種通信機能による Web 検索、電子メール、SNS (Social Network Service) に加えて、カメラ機能、録音機能等がパソコン並みに利用できるマルチ端末である。また、一度の充電により長時間利用することができるため、いつでもどこでも使用することが可能である。更に、搭載された各種 OS では、タッチパネルに直接触れることで簡単に操作できる。本報告では、小型端末として Apple 社製 iPad mini (受講者用 20 台) と iPad2 (講師用 1 台)、⁸⁾ 管理・運用が容易なデータベースとして FileMaker 社の FileMaker Server 12⁹⁾ を選定し、すべてを Wi-Fi で接続することでシステムとしての仕様アからエを満たせると判断した。

2-1-2. システムの概要

本システムを構築するために使用したハードウェア、ソフトウェアを表1に示す。データベースサーバー(1台)、Wi-Fi アクセスポイント(1台)と入力端末で構成している。データベース構築用ソフトウェアとして File MakerPro12、データベース管理運用サーバー用ソフトウェアとして File Maker Server12を使用した。小型端末として iPad mini を使用し、データベースサーバーへの接続用に File Maker Go 12 をインストールしている。こ

こで、Web ブラウザではなく、FileMaker Go 12 を採用したのは、リアルタイムにデータベースサーバーとやり取りが行われるように、アプリケーションベースで接続できることを考慮したためである。¹¹⁾ また、図3のシステム構成図に示すように、iPad mini は物理的なネットワークとして Wi-Fi によってデータベースサーバーに接続している。データベースソフト

表1 システム構成一覧

	(1) データベースサーバー	(2) Wi-Fi アクセスポイント	(3) 小型デバイス
役割	データ集計・処理 端末管理 (MDM: Mobile Device Management)	IP アドレス管理 Wi-Fi 接続	回答入力端末 システム管理端末
台数	1 台	1 台	21 台
内容	Hardware:Mac mini OS:MacOSX10.8 (Moutain Lion) DataBaseSoftware: File Maker Server 12 ※同時接続ユーザー最大 250	Hardware: AirMac Extreme 802.11ac 同時デュアルバンド (2.4GHz/5GHz) 802.11a/b/g/n ※接続ユーザー最大 50	Hardware:iPad mini,iPad2 802.11a/b/g/n Wi-Fi OS:iOS 6.1.4 Software: FileMaker Go 12 (無償)
備考	データベース構築用ソフトウェアとして File MakerPro12 を使用 データベースのホスティングは File Maker Server 12 を使用 管理端末は Apple Configurator を使用 ¹⁰⁾		

ウェア File Maker Server 12 で管理されたデータベースについては、通常の Web による共有機能に加えて、FileMaker 独自の共有機能によって、iPad mini 上の File Maker Go 12 から接続することができ、データの入力や更新がおこなえる。ここで、20 台の iPad mini 上にはデータベースファイルは取り込まれておらず、データベースサーバー上のファイルを共有する仕組みになっている。データベースファイルへのアクセス権については、割りられたアカウント名（ユーザー名）とパスワードを接続時に入力することで、他のユーザーのレコードを表示・編集できないように区別している。管理者および講師用アカウントについては、講師専用の管理メニューに加えて、すべてのユーザーのデータへアクセス可能なアクセス権を設定している。写真 1 (a) (b) に開発したリアルタイム調査・分析システムを示す。システムを構成するデータベースサーバー、Wi-Fi アクセスポイント、iPad mini などのすべてを移動用キャリア [写真 1 (c)] に収納して移動できるため、ネットワーク環境が整備されていない教室でも実施できる。また、教室によってはエレベーターが利用できないなど、移動用キャリアが使用できない場合は、二つの専用バッグに分割して持ち運ぶことができる。

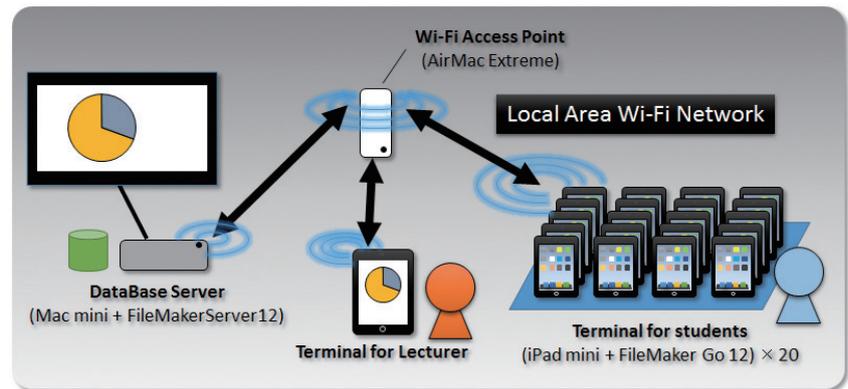


図3 システム構成図

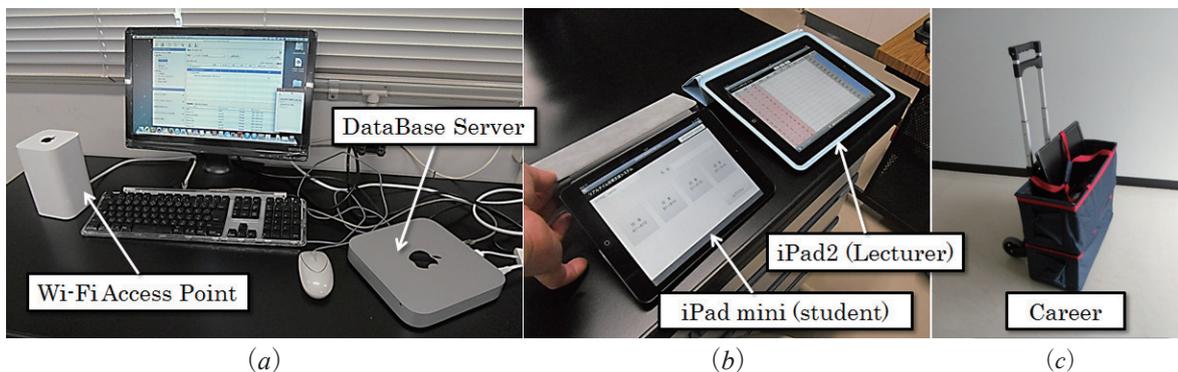


写真1 (a) リアルタイム調査・分析システムのサーバーと Wi-Fi アクセスポイント
 (b) 受講生用 iPad mini と講師用 iPad2
 (c) リアルタイム調査・分析システム一式を持ち運びするキャリア

2-2. システムの操作手順

本システムの使用時から終了時の操作手順を示す。

- ① Wi-Fi アクセスポイントとデータベースサーバーの電源入力後 5 分間程で Wi-Fi アクセスポイントを中心としたプライベートネットワークが形成され、あらかじめ割りられたサーバーのデータベースファイルが接続可能な状態になる。
- ② 次に、iPad mini と iPad2 を起動させると、自動的にプライベートネットワークに接続される。ここで、iPad mini がスリープ状態の場合は復帰手順後に直ちにプライベートネットワークに接続される。
- ③ iPad mini からデータベースサーバーへの接続は、WindowsOS でのショートカット機能に相当する専用アイコン「物理教室」を iPad mini のホーム画面上に作製しているため、これをタップすることで完了する。
- ④ リアルタイム調査・分析専用データベースファイル（RLSS2013.fp12）へは、アカウント名（ユーザー名）とパスワードを入力してログインする。これによって、各ユーザーが入力できる権限を設定しており、シ

システム内で他のユーザーの情報を見えないように制御した。

＜調査時の受講者と講師のタブレット操作について＞

図 4 に示すように、受講者用と講師用の iPad mini で異なるメニューが表示される。

図 5 に示すのは、受講者（例、今回は学生・生徒用として user01 から user30 までを設定した）としてアカウント名（ユーザー名）とパスワードを入力してログインしたときのメニューと各種回答画面を示したものである。例えば、1～n（n は 2 から任意の数まで指定できる）の選択項目の中から一つを選択する間に対しては A 回答を、1～10 の選択項目の中から複数を選択する間に対しては B 回答を、そして文字データとして自由記述で回答するときは C 回答を使用する。D 回答では、iPad mini のカメラ機能、録音機能、署名機能（自由描画）を用いて生成したデータや iPad mini 上で添付できるファイルを送信することで回答できるようになっている。4 種類いずれの回答も 10 回分を設定している。

図 6 に示すのは、講師用のアカウント名（ユーザー名）とパスワードを入力してログインしたときのメニュー、各種回答画面、データ集計画面等を示したものである。A 回答（単一選択）については集計したデータのグラフ化を行い、B 回答（複数選択）では各種項目のデータ集計表示を行うなど、入力された情報を講師にとってより分かりやすい形にしている。また、全受講者の入力情報を回答画面のタイプごとに閲覧する権限が付与され、必要に応じてフォーム表示（カード型表示）、リスト表示（カード型連結表示）、テーブル表示（表計算ソフトと同様なセル表示）と切り替えることで、更新される入力情報をリアルタイムに閲覧できる。

- ⑤調査・分析を終了する場合は、データベースサーバーから iPad mini に対してログアウトを指示し、データベースからの接続を解除する。
- ⑥調査・分析終了後は、データベースサーバー上のファイルを停止、回収する。回収したファイルは FileMakerPro12 で開くことができ、共有ファイルとして Excel 形式、CSV 形式で出力することができる。
- ⑦新たな調査・分析をおこなう場合、テンプレートファイルを既定のデータベースファイル名（RLSS2013.fp12）に置き換える方法、または既定のデータベースファイルをデータ回収後、講師用アカウントで全てのデータを消去できる機能を持たせているのでこれを実行して再利用する方法の 2 つを準備している。
- ⑧システムの停止は、データベースサーバーの停止、Wi-Fi アクセスポイントの停止、iPad mini の終了を個別に行うことで完了する。

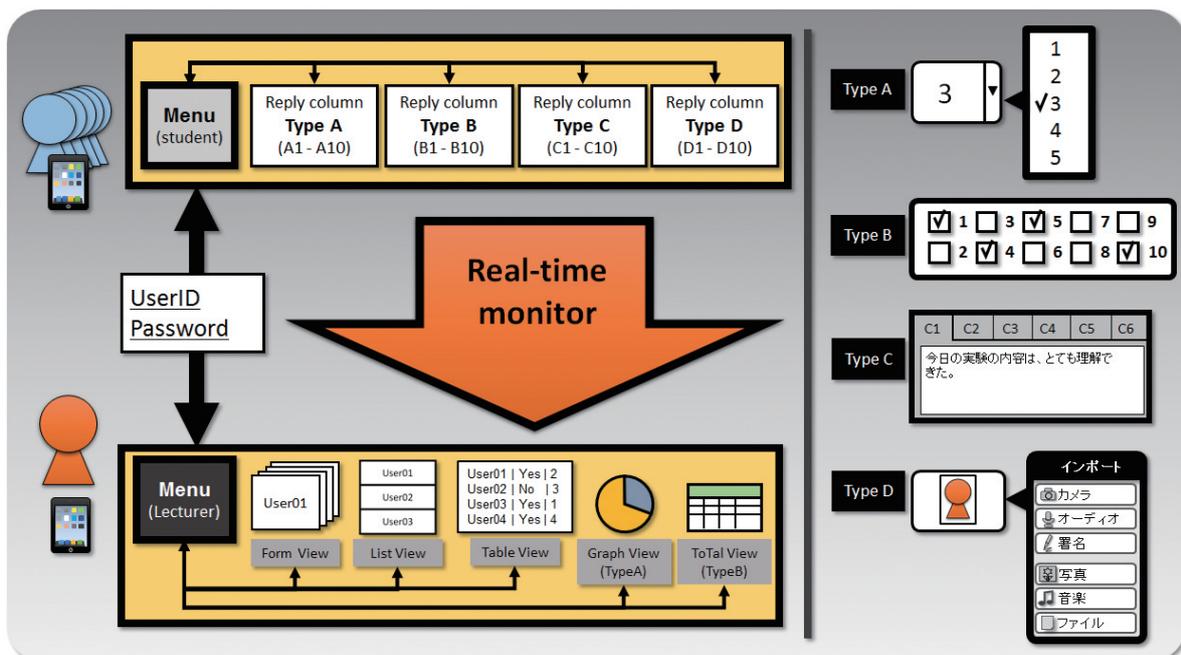


図 4 メニューの概要と各回答画面。Type A = A 回答， Type B = B 回答， Type C = C 回答， Type D = D 回答。

3. 調査例

リアルタイム調査・解析システムのモニターを、本学の中等理科専攻と環境教育コースの学生19名(2年生)を対象にしておこなった。協力学生には、調査の方法や内容を事前に知らせることなしに、当日、iPad miniの操作方法を簡単に説明して4種類の回答方式〔①多項目からの単一選択(A回答)、②多項目からの複数選択(B回答)、③自由記述(C回答)、および④iPad mini付属のカメラ・録音や署名機能(手書き)を使用したデータを送付する回答(D回答)〕を練習した後、「大気圧」をテーマとしてモニターを実施した。回答方法は、A回答、B回答、C回答の3種でおこなった。今回のモニターは、操作性の確認やシステムの不具合チェック、およびテーマに対する時系列的理解度チェックに焦点を絞って実施したため、協力学生の理解度の低い内容に対して説明の仕方を変えて解説し直すなどの理解度向上を図ることはせずにモニターを進行させた。^{※3} 本システムを用いた調査・分析の実施方法についてはいろいろな設定が考えられるが、今回は実験をおこないながら大型ディスプレイ〔写真2(a)〕を利用して「大気圧」の実験の説明画面の中に質問項目(回答形式と回答番号など)を埋め込んでおこなう方式をとった(図7)。実験室で実験をおこないながら、本システムのモニターをおこなった〔写真2(b)〕。

今回、モニターのテーマとして取扱った「大気圧」は、中学校では圧力の概念の実験例として取り扱われている。中学校理科指導要領解説書では、「……空気には重さがあることを見いださせ、空気の重さと大気圧を関連付けてとらえさせる。……地上では大気圧が働いており、すべての物体は大気圧の影響を受けていることを理解させる」とあ

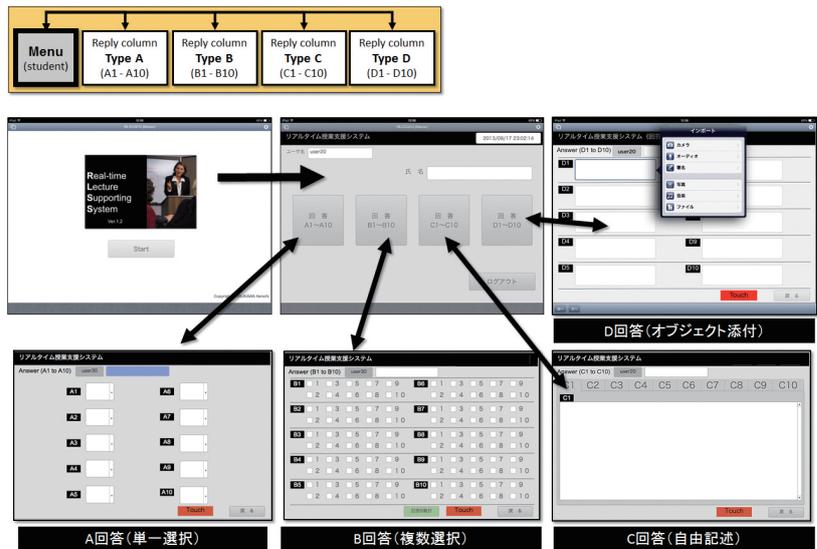


図5 iPad miniの受講者用メニューと各回答画面

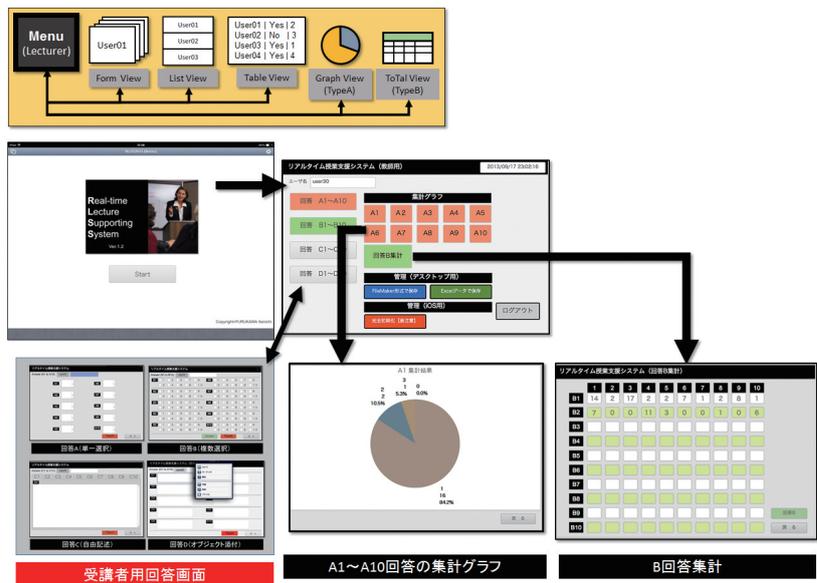


図6 iPad miniの講師用メニューと各回答画面

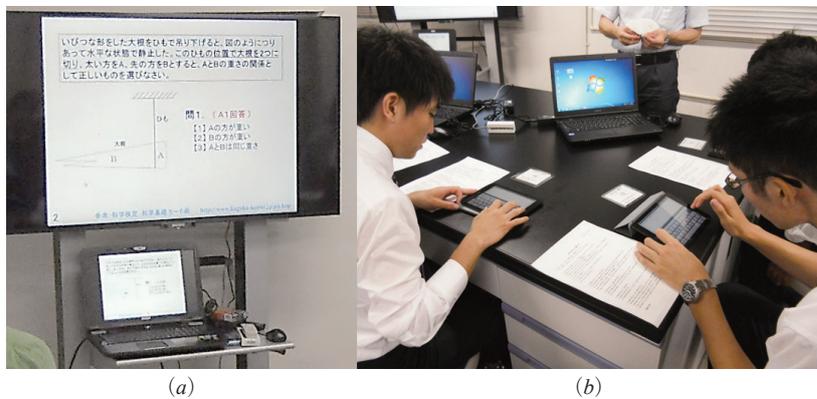


写真2 (a) 55インチ大型液晶ディスプレイでの設問表示 (b) iPad miniによる回答風景

※3 回答方式の向上を目指したシステムチェックや改善を目的として実施した。

る。高等学校の物理では、「様々な力とその働き」の項目の「圧力」で大気圧を取扱っているが、教科書¹²⁾の記述内容は「空気にも質量があるので地表にあるものはすべて空気にはたらく重力による圧力を受けている」(物理基礎：啓林館)から、例えば、トリチェリー管の水銀を水に置き換えた具体例(数式記載)で示しているものもある(東京書籍：物理)。但し、トリチェリー管の名称の記載はない。また、気体分子の運動から大気圧をごく簡単に説明するものもあり(基礎物理：数研出版など)、大気圧に関しては何れも教科書で1/3ページ程度の扱いである。一方、高等学校化学の教科書では、トリチェリー管の先端が真空であるときトリチェリー管内の高さ76cmの水銀柱圧力と水銀溜まりに作用する大気圧がつりあうことで気圧の説明をおこなうなど(東京書籍、数研出版、啓林館)、「気体・液体間の状態変化」の項目でトリチェリー管は具体例として1から2ページの記載におよぶ。今回のモニター協力学生は、高等学校で物理、或いは化学を履修したものはそれぞれ15名であった。

表2に示すように質問項目を問1から問16まで設定した。問5(A2回答)、問7(A3回答)、問14(A6回答)と問16(A7回答)を理解の推移を知るために設定した。モニターの際、問5ではトリチェリー管の実験図を示さないで質問をおこない、問7で図8を提示した。このため、問5(A2回答)の「【4】まったく知らない」の7名が

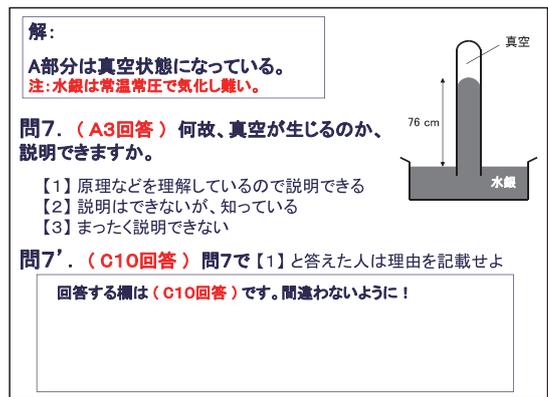


図7 リアルタイム調査・分析のモニターをおこなったときの質問項目画面

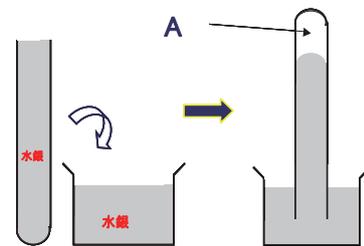


図8 トリチェリー管による大気圧の実験

表2 大気圧をテーマにおこなった質問項目一覧

問番号	回答形式	方式	問の内容
問1	C1 回答	自由記述	「油粘土で密封した空缶」を液体窒素(-195℃)につけると、どのような変化が生じるか
問2	C2 回答	自由記述	どのような現象が起こって、空缶がつぶれたのかを詳しく説明せよ
問3	A1 回答	単一選択	これまでの説明は理解できましたか
問4	C3 回答	自由記述	大気圧の大きさを測定する方法を記載せよ
問5	A2 回答	単一選択	「トリチェリー管」の実験を知っていますか
問6	C4 回答	自由記述	A部分とはどのような状態であるかを説明せよ
問7	A3 回答	単一選択	何故、真空が生じるのか、説明できますか
問7'	C10 回答	自由記述	問7で【1】と答えた人は理由を記載せよ
問8	B1 回答	複数選択	トリチェリーの実験で「水銀柱が約76cm」で、「トリチェリー管の先端が真空」となることを説明するには、物理の基本概念や法則を用いる必要がある。次の項目から、必要と思われるものをすべて選択せよ
問9	B2 回答	複数選択	説明できない(知らない)項目をすべて選択せよ
問10	C5 回答	自由記述	トリチェリー管ではどのような力が釣り合っているのかを説明し、式で示せ
問11	A4 回答	単一選択	水銀の代わりに、トリチェリー管に水を使うと高さはどの程度になるか。次の中から選択せよ。但し、真空部分に水蒸気は生じていない、とする
問12	C6 回答	自由記述	問11の結果を数式で導出せよ
問13	A5 回答	単一選択	大気圧に関して、万有引力による説明を学んだことがある
問14	A6 回答	単一選択	大気圧の掛かる仕組みを理解できましたか
問15	C7 回答	自由記述	これまでに理解した内容を踏まえて、水深100mで潜水夫に作用する力を説明し、その大きさを気圧の大きさでもとめよ。文章で説明して数値で示せ
問16	A7 回答	単一選択	トリチェリー管のA部分が真空になる理由を理解できましたか

A 回答 選択肢の例			
問5	A2 回答	単一選択	【1】原理を理解している 【2】理解していると思っている 【3】詳しくはわからないが聞いたことがある 【4】まったく知らない
問7	A3 回答	単一選択	【1】原理などを理解しているので説明できる 【2】説明はできないが、知っている 【3】まったく説明できない
問14	A6 回答	単一選択	【1】これまで説明できなかったことが理解できた 【2】理解できたような気がする 【3】どちらともいえない 【4】どちらかという理解できない(納得できない点がある) 【5】まったく理解できない
問16	A7 回答	単一選択	【1】これまで説明できなかったことが理解できた 【2】理解できたような気がする 【3】どちらともいえない 【4】どちらかという理解できない(納得できない点がある) 【5】まったく理解できない 【6】すでに知っていた

表3 トリチェリーの真空に関する解答例

トリチェリー管のA部分が真空である理由の解答例	
解答例1	一端を閉じたガラス管に水銀を満たして、水銀がこぼれないように水銀槽に立てた瞬間、図11のiiに示すように水銀で満たされていたA部分が空白となることより、ガラス管上部(A相当部分)は真空と判断される。ここで、標準状態で水銀は酸化し難い。次に、ガラス管上部(A相当部分)に穴を開けると図11のiiiに示す状態になる。圧力のつりあいの関係式より、水銀柱76cmの圧力が大気圧の大きさに相当すると判断できる。
解答例2	地球を質点と考えたうえで万有引力の法則を適用すると、大気中のあらゆる気体分子は地球中心に向かって引き付けられ、気体分子は衝突を繰り返しながら地表にその力を伝える[図9(a)]。海拔0mでの地表換算におけるこの力の総量を地球の球表面積(半径6,400km)で割った値が大気圧であるとする。この大気圧と水銀柱の圧力がつりあっている。大気の水銀に置き換えた場合、図9(b)図のA部分は、宇宙空間の真空に相当する、真空では分子が存在しないのでトリチェリー管内の水銀液面に万有引力による力は加わらない。
解答例3	標準大気圧ではトリチェリー管の水銀柱は76cmでその上部が真空(トリチェリーの真空)である(既存の知識)。図9(b)ではトリチェリー管の水銀柱は76cmであるので、A部分は真空である。

問7(A3回答)では「[3] まったく説明できない」の4名に変化した。この変化は、例えば、図8を見て思い出したのではと推測される。また、問5(A2回答)の「[2] 理解していると思っている」の4名が問7(A3回答)では「[1] 説明できる」の2名に減少して、問7(A3回)の「[2] 説明できないが知っている」が13名になった。これは説明できると回答した場合、問8(C10回答)で理由を記載しなければならなかったので2名が「説明できないが、知っている」に変更したのではと思われる。以上より、トリチェリー管の実験を何らかの形で知っていた(含、理解している)学生は、モニターに参加した19名の学生の内、表4に示す問7(A3回答)の「[1] 原理などを理解しているので説明できる」の2名と「[2] 説明はできないが知っている」の13名をあわせた計15名と推測し、モニターで大気圧を解説する前のトリチェリー管実験に対する協力学生のこれまでの学習実態と解釈した(図12)。本学進学後、物理学実験I(1年次で受講)の「フォルトンの気圧計」実験を学んでいるので、実験名称は答えられなくても水銀柱と大気圧の原理は全員が理解しているはずなのだが……。

表2に示す問6(C4回答)および問7(C10回答)でのトリチェリーの真空の解答例を表3に示す。ここで、解答例3は既知の情報を根拠にトリチェリーの真空を説明した一例である。今回のモニターでは、大気圧の解説として解答例2のみを図9(a)(b)で示して説明をおこなった。大気圧の解説後、大気圧の仕組みに関する問14(A6回答)、或いはトリチェリーの真空に関する問16(A7回答)では表4および図10のようになった。約73%が「大気圧の掛かる仕組みを理解した」、或いは「理解できたような気がする」と回答したが、トリチェリーの真空を「理解した」、或いは「理解できたような気がする」と回答したのは約53%であった。これらの数値は本システムでモニター中に知り得ていたもので、解答例1を追加説明すれば、或いは高校で化学を履修した学生が15名もいたのであるから解答例3を追加で説明すれば、問16(A7回答)の「理解した」とする回答率は上がったであろう。しかし、解答例1(これに対応する説明図は図11)は自然科学を専攻する大学生であれば推測して解答できるレベルであり、また、解答例3は知識を根拠にトリチェリーの真空を説明するものであるため、今回のモニターでは敢えて説明せず、解答例2の提示のみでモニターを進行させた。高等学校の教科書では、万有引力は惑星の運動の項目ででてくるものの大気圧と関連させた記載はない。解答例2による説明はモニターに協力した学生の全員が初めて聞く[問13(A5回答)]内容であったためか、短かった調査時間内で内容を咀嚼することができず、問16(A7回答)で「ど

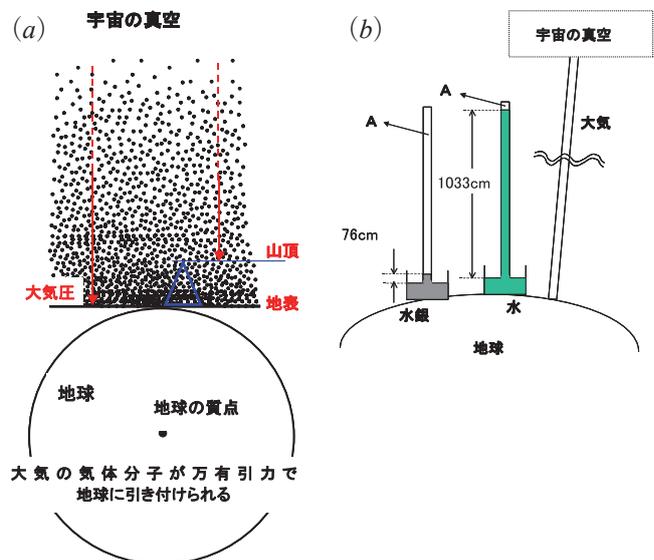


図9 (a) 大気圧を万有引力で説明する説明面その1
(b) 大気圧の説明図その2

表4 問5 (A2回答), 問7 (A3回答), 問14 (A6回答), 問16 (A7回答) の各
回答項目と回答人数

問5	「トリチェリー管」の実験を知っていますか	A2回答 (人数)
[1]	原理を理解している	0
[2]	理解していると思っている	4
[3]	詳しくはわからないが聞いたことがある	8
[4]	まったく知らない	7
問7	何故, 真空が生じるのか, 説明できますか	A3回答 (人数)
[1]	原理などを理解しているので説明できる	2
[2]	説明はできないが, 知っている	13
[3]	まったく説明できない	4
問14	大気圧の掛かる仕組みを理解できましたか	A6回答 (人数)
[1]	これまで説明できなかったことが理解できた	3
[2]	理解できたような気がする	11
[3]	どちらともいえない	4
[4]	どちらかという理解できない (納得できない点がある)	1
[5]	まったく理解できない	0
問16	トリチェリー管のA部分が真空になる理由を理解できましたか	A7回答 (人数)
[1]	これまで説明できなかったことが理解できた	1
[2]	理解できたような気がする	9
[3]	どちらともいえない	6
[4]	どちらかという理解できない (納得できない点がある)	3
[5]	まったく理解できない	0
[6]	すでに知っていた	0

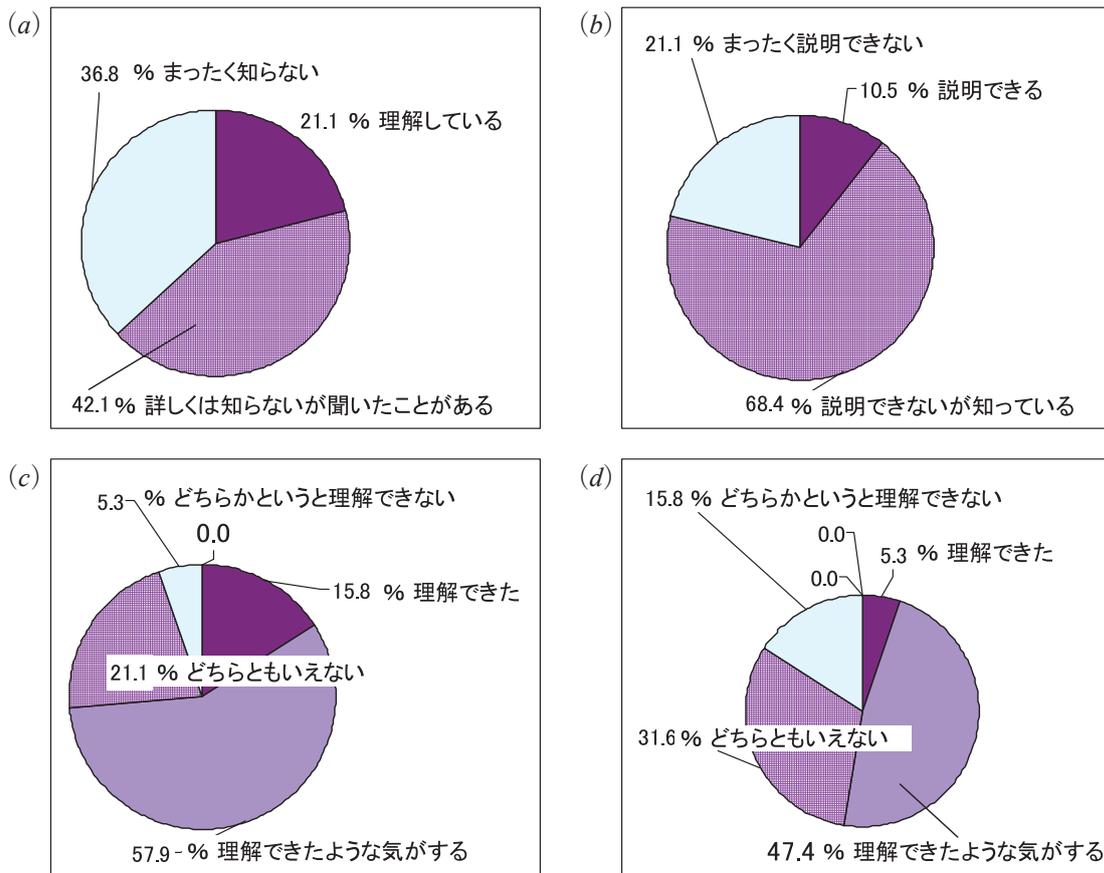


図10 問5 (A2回答), 問7 (A3回答), 問14 (A6回答) と問16 (A7回答) の回答項目と割合 (%)
(a) トリチェリーの実験について (% 表示)
(b) トリチェリー管に、何故真空ができるか (% 表示)
(c) 大気圧が掛かる仕組みを理解できたか (% 表示)
(d) 真空になる理由を理解できたか (% 表示)

表 5 問 10 (C5 回答), 問 12 (C6 回答), 問 15 (C7 回答) の正解率

問	内容	回答	正解率 (%)	
問 10	トリチェリー管ではどのような力がつり合っているのかを説明し、式で示せ	C5	%	
		○: 理解している	3	15.8
		△: 説明を加えれば、理解につながるだろう	9	47.4
		×: 理解できていない	7	36.8
問 12	問 11 の結果を数式で導出せよ	C6	%	
		○: 理解している	6	31.6
		△: 説明を加えれば、理解につながるだろう	1	5.3
		×: 理解できていない	12	63.2
問 15	これまでに理解した内容を踏まえて、水深 100m で潜水夫に作用する力を説明し、その大きさを気圧の大きさでもとめよ。文章で説明して数値で示せ。	C7	%	
		○: 理解している	7	36.8
		△: 説明を加えれば、理解につながるだろう	5	26.3
		×: 理解できていない	7	36.8

ちらともいえない」と6名が回答したものと推測する。

受講生が A 回答で示した理解の程度は記述式 C 回答で検証することができる。今回のモニターでは、問 10 (C5 回答) が問 5 (A2 回答) 或いは問 7 (A3 回答) に、問 12 (C6 回答) が問 11 (A4 回答) に、問 15 (C7 回答) が問 14 (A6 回答) にそれぞれ対応するもので、C 回答の内容から判断してそれぞれの問に対する理解の程度を表 5 に示した。不注意な数式記載ミス、例えば、単位の取り違いや計算ミスなどは表における「△印」で示しているが、「×印」は明らかな理解不足を意味する。理解不足者に対する追加説明をおこなわなかったためか、記述の C5 ~ C7 回答の結果は散々なものであった。この事態は深刻に受け止めなければならないと感じている。教育学部における理系教育において、講義・演習・学生実験に数式や言語表現を重視する活動をこれまで以上に積極的に導入する必要を、モニターを通じて改めて感じた。^{※4}

大気圧の仕組みに関して、トリチェリー管を実験例として取りあげてモニター学生の理解の推移を時系列的に示したのが図 12 である。横軸は A 回答番号（問番号と A 回答番号は表 2 参照）を示し、縦軸は %（分母はモニター学生数 19 名）表示である。表 3 に示す解答例 2 のみの説明で今回のモニターをおこなったため、大気圧の仕組みは「理解した」と回答（A6 回答）した学生は 14 名であったが、トリチェリーの真空の説明では「理解した」と回答（A7 回答）した学生が 10 名であった。これまでに学んだ内容とは異なる説明に戸惑いを感じながら回答に及んだようすが推測できる。表 3 に示す解答例などをすべて提示したならば、図 12 の□印のグループは○印に移行したものと考えられる。一方、△印で示す「理解できない」学生がモニターの最初（A3 回答）から最後（A7 回答）までこの状態であった理由はいろいろと考えられるのであろうが、教科や科目による得手不得手の個人差はあるものの、様々な情報を取得しながら理解を深めて

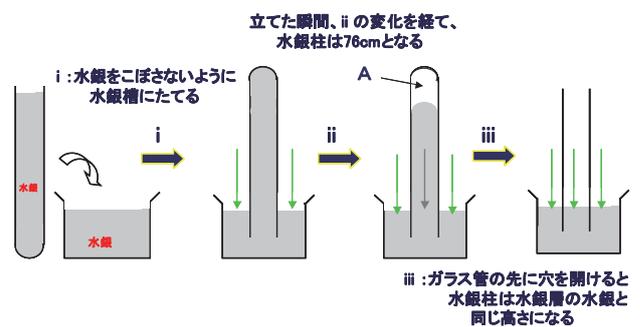


図 11 トリチェリー管実験の説明図

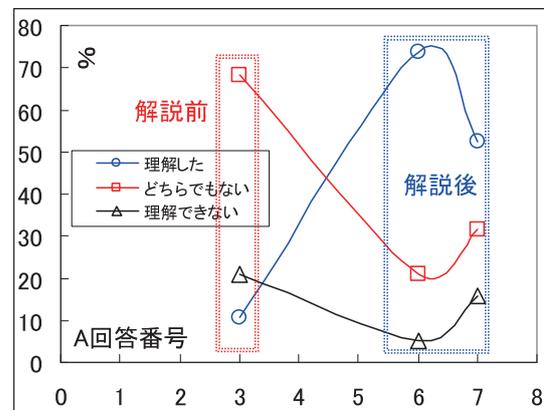


図 12 理解の時系列的変化の例

※4 モニターの最後に、モニターの感想を C 回答（文字・数式入力）でもとめたが、記載の中に「計算をキーボードで書くには適してないと思った。頭の中で計算だけではできない」「数式入力に戸惑った」「計算用紙に書きながら考える方式から、頭の中だけで問題を考えるのは、慣れるまで難しいと思います」「計算が必要な問題は手書きの機能が欲しいと思う。その際に、生徒がどのような計算過程をしたのかが分かると便利だと思う」などがあつた。問 10、問 12、問 15 を D 回答の描画（手書き）機能で記載させれば、別の結果がでたのかもしれない。回答形式の吟味は必要である。尤も、 13.6×76 の計算は、例えば、 $13 \times 80 = 1040$ の概算に置き換えれば誰にでも暗算できるのだが……。

表6 問5 (A2回答), 問7 (A3回答), 問14 (A6回答), 問16 (A7回答) の理解度の表示例

問5	「トリチェリー管」の実験を知っていますか	A2回答 (人数)	点数	
[1]	原理を理解している	0	2	0
[2]	理解していると思っている	4	1	4
[3]	詳しくはわからないが聞いたことがある	8	0	0
[4]	まったく知らない	7	-1	-7
			計	-3

問7	何故、真空が生じるのか、説明できますか	A3回答 (人数)	点数	
[1]	原理などを理解しているので説明できる	2	1	2
[2]	説明はできないが、知っている	13	0	0
[3]	まったく説明できない	4	-1	-4
			計	-2

問14	大気圧の掛かる仕組みを理解できましたか	A6回答 (人数)	点数	
[1]	これまで説明できなかったことが理解できた	3	2	6
[2]	理解できたような気がする	11	1	11
[3]	どちらともいえない	4	0	0
[4]	どちらかという理解できない (納得できない点がある)	1	-1	-1
[5]	まったく理解できない	0	-2	0
			計	16

問16	トリチェリー管のA部分が真空になる理由を理解できましたか	A7回答 (人数)	点数	
[1]	これまで説明できなかったことが理解できた	1	2	2
[2]	理解できたような気がする	9	1	9
[3]	どちらともいえない	6	0	0
[4]	どちらかという理解できない (納得できない点がある)	3	-1	-3
[5]	まったく理解できない	0	-2	0
[6]	すでに知っていた	0	2	0
			計	8

いくことを苦手とする学生に対する新たな取り組みの必要性を強く感じる。

A2回答からA7回答の回答項目に対する素点を決めて該当人数を乗じて各問に対する点数表示したものを表6に示す。ここで、問5 (A2回答) の「詳しくは知らないが聞いたことがある」および問7 (A3回答) の「説明できないが知っている」を0点としたのは、「理解 = 説明できる」で評価したためである。各問の計に示す数値の「-」値は理解していないレベルの評価を、また、「+」値は理解しているレベルの評価を数値表示で試みた。横軸をA回答番号とし、縦軸を点数で表示したものを図13に示す。これはモニター学生全体に対する理解度の時系列的な変化の別な示し方であり、この評価法では、モニターに参加した学生全体としては、表3に示す解答例2のみの説明によって、「大気圧やトリチェリーの真空」に関する理解度は全体的に向上したといえる。

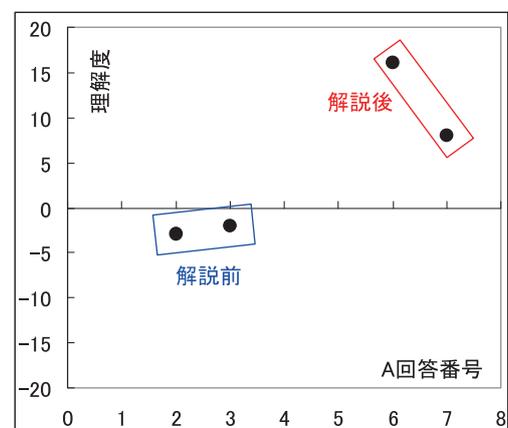


図13 全体の理解度に関する表示の例

次に、個々の学生に対する理解度評価の時系列的推移を、同じようにA2回答からA7回答の回答項目に対する素点 (表6の“点数”参照) を決めて点数表示したもので分類分け (図14) を試みた。最終的に理解したアグループ、理解の曖昧さが残ったイグループ、そして理解できなかったウグループの3群に分類してみた。アグループは10名、イグループは6名、そしてウグループは3名であった。様々な評価法があると考えられるが、1例として取りあげた今回の評価の仕方によるこのような時系列的な理解度の変動を更に詳しく解析することで、適時どのような説明をおこなえば良いか、どのような資料や情報を示せばよいかなど、定量的なデータに基づいて分析する根拠を提示できるものと考えている。

最後に、モニターに協力した学生の本システムに関する意見を記載する。

○最初はどうか使えば良いものかわからず、戸惑いもあったが、慣れていくうちに非常に便利なものを感じられた。このような電子機器を授業現場に導入することは面白いと思う

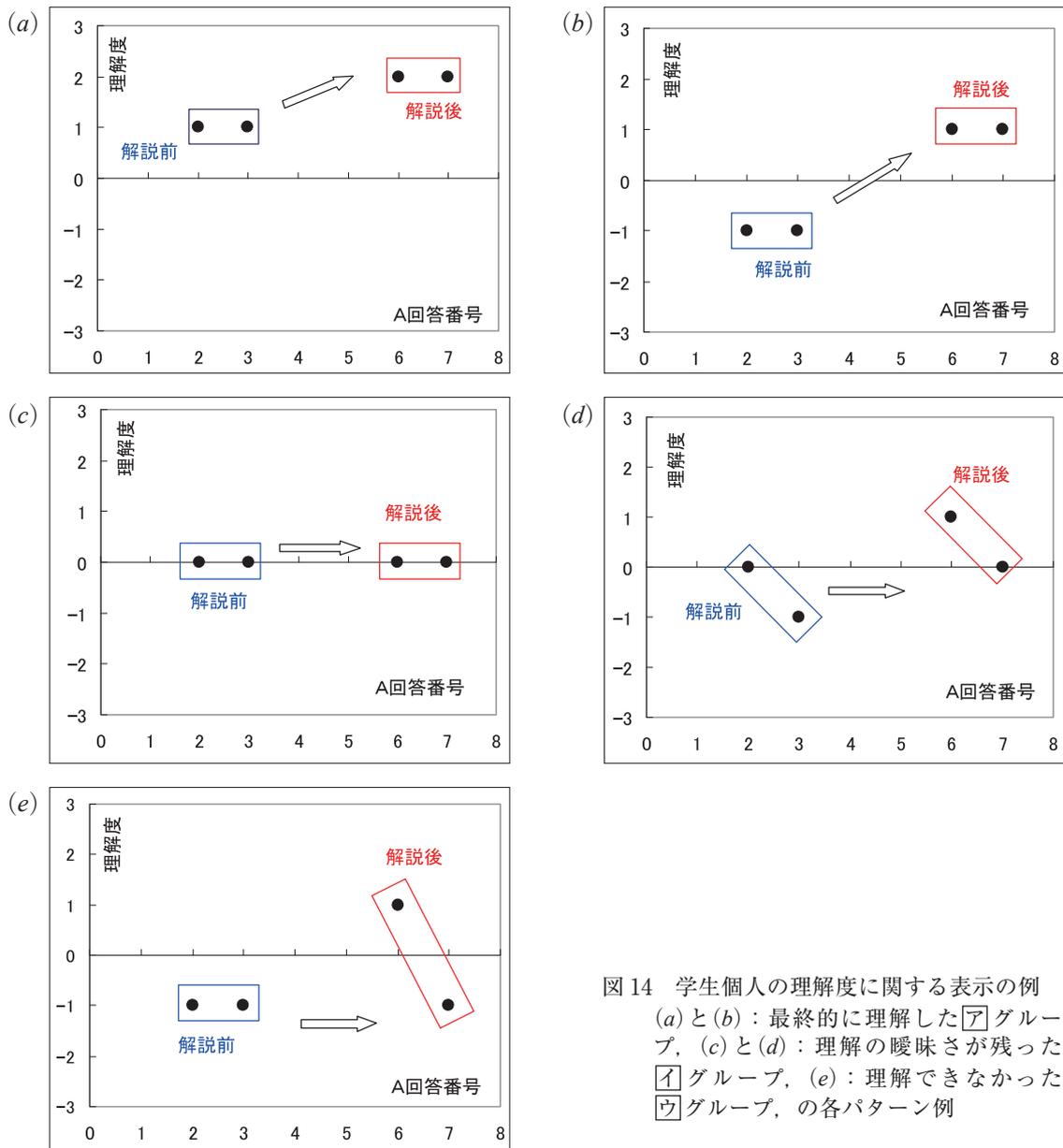


図14 学生個人の理解度に関する表示の例
 (a)と(b)：最終的に理解したアグループ、(c)と(d)：理解の曖昧さが残ったイグループ、(e)：理解できなかったウグループ、の各パターン例

- 教師からの一方的な情報発信が強かったが、このような情報機器が教育現場で使われるようになれば生徒からの情報発信が容易になり、より質の高い教育の場がうまれるのではないかと考えられる
- 受講者の理解度を短時間で数値的に把握できるので便利であり、意義がある
- 一度に問題に対する多くの意見（受講者全員の意見）を知ることができるのでいいと思う
- 複雑な操作が必要でなくスムーズに回答できた
- 受講者の理解度を測るにはいいものだった
- iPad を使い慣れていないと集中力が散漫になる（操作に気を取られて理解が遅れた）
- 計算の場合、計算用紙に記入しながら問題を考える方式から、頭の中だけで考えるのは難しい一方、モニターで用いた「大気圧」の内容に関しては、次の通りである。
- 大気圧に関する知識が曖昧であることがわかった
- 大気圧の理解が乏しいことに気付くことができた
- 大気圧の説明で万有引力の考え方を利用するのはなるほどと思った
- 詳しく説明しなさいと言われるとできない部分があることに今日気付くことができた

- 何となく知っていたことや知らなかったことをはっきりと知ることができた
- 物理が中学校のときから苦手で、今日の内容もほとんど理解できませんでした。トリチェリーとか聞いたことはあったけど、内容までは理解できませんでした
- 物理を苦手とする私にとって難しいものであったが、興味深い内容であった

4. まとめ

データベースサーバー、Wi-Fi アクセスポイントおよび入力端末としてタブレット PC でプライベートネットワークを構成して、システムそのものを持ち運んで実施する「携帯可能な教育用リアルタイム調査・分析システム」を構築した。このシステムの特長は、次のように示せる。

- i. タブレット PC の回答方式を、①多項目からの単一選択 (A 回答)、②多項目からの複数選択 (B 回答)、③自由記述 (C 回答)、④タブレット PC 付属のカメラ・録音や署名 (手書き) 機能を使用したデータを送付する回答 (D 回答) の計 4 種類とした多機能性、および様々なアンケート形式に対応できる汎用性をもたせた。特に、④の機能は、タッチペンで文字や数式等を入力しながら講師と受講生間の双方向性の迅速な情報交換を可能とした。受講者の自己申告による A 回答 (複数項目の単一選択) の検証 (例、理解したか否かの裏付け) を C 回答 (自由記述) や D 回答 (手書き描画機能) でおこなうことができ、これまでのシステムでは実現できなかった質の高いリアルタイム調査・分析の実践を可能とした。
- ii. 入力端子であるタブレット PC を受講生の回答専用機として使用するだけでなく、講義担当者 (lecturer) もタブレット PC を用いて受講者の時々刻々と回答する内容およびデータ分析をモニターできるようにして、サーバーを意識せずして双方がタブレット PC の操作のみに集中できる調査・分析環境を実現した。
- iii. 今回のシステム構成はタブレット PC を 21 台としたが、1 台の Wi-Fi ネットワークアクセスポイントの制限は 50 である。FileMaker Saver を使用した本システムの場合、理論上ではリアルタイム調査・分析システムの入力端末であるタブレット PC は最大 250 台まで拡張することができる。
- iv. 調査後、収集したデータは WindowsOS や MacOS 上の集計算ソフトで解析できるように、データの共有化 (Excel 形式と CSV 形式) をおこなった。
- v. タブレット PC の電源バッテリーの充電、iOS やアプリケーションのバージョンアップなどのシステムとタブレット PC のメンテナンスが容易である。
- vi. スマートフォン等を利用したシステムと比べて、本システムは外部通信事情に依存しないし、通信代なども不要である。小・中・高等学校の教育現場での実施が可能である。
- vii. 今回のモニターで、また後日、地元中学生の協力でおこなったモニターで、タブレットの使用経験がなくても 15 分程度の練習をおこなうことで比較的簡単に扱える操作性の良さも確認できた。
- viii. 「大気圧」をテーマにして、本システムの実施例を示した。データの示し方や解釈には幾通りかの方法があるものと思われるが、「大気圧」を理解するキーワードを設定して理解度の時系列的变化を定量的データで検証することができ、教育改善の方向性を定量的データに基づいて探ることができると期待する。

本報告で示した“教育用リアルタイム調査・分析システム”はこれを開発した目的以外においても、例えば、本システムの D 回答のタッチペンによる署名 (描画) 機能を用いることで「記述式小テスト」、或いは「意見聴取」にも利用でき、これらをファイル管理できるようになる。また、D 回答のタブレット PC のカメラ・録音機能を利用して小・中・高等学校での実験・観察記録用の児童・生徒用電子ノートブックとしての活用も可能で、その利用範囲は広がるものと考えている。まとまった台数のタブレット PC を購入する初期投資はかかるものの本システムが活躍できる“場”は広がるものと考えている。

謝辞

本学学生や中学生を対象としたモニターの実施およびデータ解析に協力してくれた本学初等理科選修 4 年生の元永宗吾君と遠矢桃子君に感謝する。尚、本開発は、文部科学省平成 24 年度国立大学法人施設設備費補助金「質の高い理科教育支援システムの整備」の補助を受けておこなっているものである。

参考文献

- 1) 授業応答システム“クリッカー”による能動的学習授業, 鈴木久男, 武貞正樹 以下6名, 高等教育ジャーナル—高等教育と生涯学習—, 16 (2008) p1-17, およびこの報告者の参考文献参照
- 2) クリッカーを用いたピア・インストラクションの授業実践, 兼田真之, 新田秀雄, 物理教育 Vol. 57-2 (2009) p103-107
- 3) クリッカーの紹介と導入の手引き, 高等教育開発推進センター,
<http://rche.kyushu-u.ac.jp/ld/prs/index.html>
- 4) 例えば, スマートフォン, タッチタブレットを活用した教育の情報化については,
http://www.ua-book.or.jp/eiseitsushin/22/22_3.html
http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/zyouhou/main18_a2.htm
- 5) 例えば, Development of a Smart Classroom for Chinese Language Learning Using a Smartphone & Tablet, Jianming WU, Tsuneo KATO and Da YANG, EDUCATIONAL TECHNOLOGY RESEARCH Vol.36, (2013) p153-165
- 6) 教育の情報化の推進, 文部科学省
http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/zyouhou/main18_a2.htm
- 7) Development of a Web Clicker System in Consideration of University with Smart Devices. ,
Aoi KOGA, Daisuke YAGYU and Koichi NOZAKI, 大学情報システム環境研究 Vol.16, (2013) p43-50
- 8) Apple 社
URL:<http://www.apple.com/>
- 9) FileMaker 社
URL:<http://www.filemaker.co.jp/>
- 10) iOS デバイスを用いた移動型小規模データベースシステムの構築と活用, 古川健一, 第26回日本産業技術教育学会九州支部大会 D20, (2013) p129-130
- 11) Apple Configurator
<http://help.apple.com/configurator/mac/1.4/?lang=ja>
- 12) 文科省検定, 中学校理科および高等学校物理の教科書, および指導要領解説書