

推薦論文

協調学習支援を目的としたテーブルトップインタフェース

北原 圭 吾[†] 井上 智 雄^{††}
重野 寛[†] 岡田 謙 一[†]

情報通信技術の発達により、初等教育などでは、野外での学習活動にも情報機器が利用されるようになってきているが、学習を深めるためには、野外での活動はもちろん、それと対となる事前事後の学習が重要であると考えられる。本論文では、野外で集めた動植物のデータを使って協調的に復習を行うためのテーブルトップインタフェースについて報告する。写真や草花といった実物体の周りに動植物の成長や周辺の関連データといった電子データを表示させるなどして、現実空間における学習と情報空間における学習を組み合わせることで、両者の利点を活かした学習を行える。協調学習という観点から考えると、効率的なデータの受け渡し手法が必要であると考えられるため、数種類のデータ受け渡し機能を実装した。評価実験の結果、情報空間における学習を取り入れることで、より短時間で必要な情報を把握できること、実装した情報の受け渡し手法が有用であることが分かった。

A Tabletop Interface for Supporting Collaborative Learning

KEIGO KITAHARA,[†] TOMOO INOUE,^{††} HIROSHI SHIGENO[†]
and KENICHI OKADA[†]

We focused on face-to-face collaborative learning in a classroom using spatio-temporal contents, which is typically conducted after outdoor class in an elementary school. We have developed a tangible collaborative learning support system that uses real objects and associating spatio-temporal contents. Temporal data sequence that shows growth of a plant and geographic data collection are presented by the system. Methods for exchanging contents on the system that are thought to be suitable for face-to-face collaborative learning have been also implemented. Better information accessibility is proved to be provided by the system than conventional pen and paper method.

1. はじめに

近年多くの学校で行われるようになった体験学習においては、体験そのものも重要であるが、十分な学習を行うためには適切な事前学習や事後学習が必要となってくる¹⁾。また、協調学習に関するさまざまな研究²⁾が行われており、最近では自然学習を目的とした協調学習を支援する研究^{3),4)}も行われている。

情報通信技術の発展にともない、コンピュータの操作方法も多様化してきており、digital desk⁵⁾に代表されるようなテーブルトップインタフェース(以下、

TTI)に関する研究もさかんに行われている。

そこで我々は、効果的に自然学習の復習を支援するTTIを提案する。実物体を利用するインタフェースが野外学習の復習に適していると考え、その上で学習効果の上がるようなデータの提示手法、および協調学習を行ううえで必要と考えられる効率的なデータの受け渡し手法について実装し、評価した。

2. 協調型自然学習

2.1 自然学習の現状

自然学習は、野外で社会体験を経験したり自然に関する知識を得たりするために有効な学習である。本研究では、自然に関する知識を学習する際の支援を目的とする。

[†] 慶應義塾大学大学院理工学研究科

Graduate School of Science and Technology, Keio University

^{††} 筑波大学大学院図書館情報メディア研究科

Graduate School of Library, Information and Media Studies, University of Tsukuba

本論文の内容は2005年11月のグループウェアとネットワークサービスワークショップ2005にて報告され、GN研究会主催により情報処理学会論文誌への掲載が推薦された論文である。

従来の自然学習の学習方法は、まず事前学習としてインターネットや図鑑などを用いて動植物についての知識を得る。そしてその知識をもとに、野外に出て動植物の観察を行う。野外では、動植物の観察と同時に、スケッチや写真撮影をしたり植物や昆虫を採集したりしながらデータを収集する。そして事後学習として、教室に戻って各学習者が収集したデータを模造紙に貼り付けたりしながら複数人で議論などを行う¹⁾。このような協調的な学習を行うことで、個人での学習以上に深い知識を得ることができる⁶⁾。野外環境における観察などの実体験学習の重要性はきわめて高いが⁷⁾、知識を深めるという意味では教室に戻ってからの復習が重要であると考えられる。そこで本論文では、教室における復習作業を支援することを研究目的とした。

2.2 自然学習の復習作業の問題点

従来行われているような模造紙を用いた復習方法では、扱えるデータ数に限界があり、データの蓄積やデータの関連付けが困難であるという問題点がある。一部の学校では情報機器を取り入れ、簡単なデータベースを作成する授業も行われているが、操作に慣れるまでに時間がかかる、生徒間のコミュニケーションがとりにくく個別の作業になりやすい、などの問題点がある¹⁾。また復習作業においては、自分の集めてきたデータを他の生徒に発表したり、他の生徒の発表を聞いたりする、という行為が理解を深めるうえで効果的な学習手段である⁶⁾ため、生徒が学習するのに効果的なデータ提示手法を考えると同時に、生徒が発表しやすいインタフェースとなるよう工夫が必要である。

3. 関連研究

3.1 TTI システム

Koikeらは、遠赤外線カメラを用いて人体と机面の温度差によって手を認識するシステムを提案している⁸⁾。またRekimotoは、静電容量の変化を用いて手の位置を認識するシステムを提案している⁹⁾。

これらのシステムと比較して、本システムでは感圧式のタッチセンサを利用している点が特徴である。感圧式にすることで、実物体を置いてそれを電子的に認識させるという動作を容易に実現でき、実物体をディスプレイに軽く押し付けながら移動させることで、その移動を容易に認識させることができる。

3.2 実物体を用いた学習支援

Sugimotoらは、環境問題を対象とした、物理世界と仮想世界とを融合した対面型のグループ学習支援システムを提案している¹⁰⁾。またDeguzmanらは、人体模型を用いて人体の断面図をディスプレイに表示さ

せるシステムを提案している¹¹⁾。

これらのシステムと同様に本システムでも実物体を利用しているが、これらのシステムでは主に学習内容の理解度を向上させる目的で実物体を利用しているのに対し、本システムでは、実物体の持つさまざまな情報(視覚、嗅覚、触覚など)を体感しながら学習する目的をあわせ持っている。

4. 提案システム

前章の問題点を受け、複数人の学習者が協調的に復習作業を行うことのできるシステム¹²⁾を提案する。

提案システムの概観図を図1に示す。大型の感圧式タッチパネルディスプレイを水平にすることで、複数人の学習者で共通の学習用空間を囲みながら学習可能なインタフェースとなっている。また、物を置くといった机本来の持つ機能をそのままに、コンピュータでその機能を支援することができる。

4.1 協調学習を支援するインタフェース

学習効果は、「学習の理解度の向上」と「学習効率の向上」に分類され、教育システムの研究はこのどちらかを目指しているといえる。本研究は、インタフェースの側面から学習効率の向上を目指すものである。

今回想定している授業のように、複数人が集まって作業を行う場合、複数のユーザが協調作業を行うための「共有作業空間」と、各ユーザが個人的な作業を行うための「個人作業空間」の間で、自由に情報を移動できるよう支援する必要がある¹³⁾。また効果的に学習支援を行うためには、生徒間のコミュニケーションを促進させる必要がある⁶⁾。そのためには、生徒間での情報の共有が必要である。本システムでは、実世界において我々がやっている情報の移動をデジタルデータに対しても行えるようにするため、3種類のデータ受け渡し



図1 システム概観図

Fig. 1 System overview.

機能を実装し、生徒間での情報の共有を容易にすることで、生徒間のコミュニケーションを促進させている。

4.2 実物体の利用

本システムの特徴の1つは、写真や模型などの実物体を用いた TTI となっている点である。対面協調作業では、実世界のインタラクションが重要とされる¹⁴⁾。実物体インタラクションを有しテーブルに対座する協調作業と、映像を投影した共有スクリーンに対して横並びで行う協調作業では、コミュニケーションの振舞いに大きな違いが現れることが知られている。ジェスチャや発話頻度などに違いがあり、前者の方が協調作業のしやすさと互いの理解度の面で優れている¹⁵⁾。そこで、議論やコミュニケーションを行いながら進められる協調学習においては、実物体を用いて大型の机上ディスプレイを囲みながら学習を行ったほうが効果的であると考えられる。

また、実物体を協調学習に利用することで、「コンピュータに不慣れた学習者でも容易に学習に参加できる」、「実物体を物理的に他者と共有することによって、言語的、非言語的コミュニケーションを促進し、協調的な学習における学習者同士の意見の外化を支援できる」¹⁰⁾、「3次元的な視野から学習が行える」¹¹⁾などの効果がある。また、草花や昆虫といった実物体からは触感や匂いといった視覚情報以外の情報を得ることができ、復習の段階でも実物体を扱うことで、野外で観察したときには気が付かなかった点についても学習できる。一方デジタルデータには、膨大な量の情報を取り扱え、複写や保存、加工などが容易であるという利点がある。そこで、その両者を組み合わせることで、より効果的な学習ができると考えられる。本システムでは、バーコードとタッチセンサを用いて実物体を認識し、実物体の周りに関連情報を表示させるなどして、一方だけでは不足している情報を補い、学習を深めるためにその両者を効果的に結び付けている。

また、実物体を有したインタラクションにおいては集中して見聞きできることが知られており¹⁵⁾、各生徒が自分の収集したデータを発表する際には、実物体を用いて行う方法が適していると考えられる。実物体を用いない場合、各生徒がそれぞれ自分の PDA やノート PC などを利用して自分の収集したデータを発表することが考えられるが、本研究で対象としている小学生にとってそれらの操作は複雑なものである。ユーザのスキルや経験に基づいた操作を実現することで、容易で自然な操作が可能になる¹⁶⁾。発表する際に実物体を置くという動作は、経験に基づく自然な動作であるため、実物体を置くことで電子的に認識されるインタ

フェースは、生徒が自分の収集したデータを発表する際に有効であると考えられる。

4.3 データの関連付け

本システムでは、野外で収集したデータを用いて復習を行う。図3に示したメタデータを収集データに付加させることで、周辺のデータや過去のデータとの関連付けを行い、さまざまな関連情報を表示させる機能を付加させている。

データベース上に何年ものデータが蓄積されれば、長い期間を追った学習が可能となり、1つのテーマ・季節の制約を受けるといった問題が解決される。

5. システムの実装

5.1 システム構成と実装環境

システムの構成と概要を図2および図3に示す。プロジェクタを用いて、水平に寝かせた感圧式の47型タッチセンサ式ディスプレイ (SMART Technologies社の SMART Board) に映像を投影している。また、実物体の認識はあらかじめ実物体に付加したバーコードを用いて行っている。なお本システムは、Windows環境においてJavaを用いて実装した。

5.2 システムの機能

前章で説明したメタデータを保持した撮影画像を含む採取データは、サーバにあらかじめ保存されている

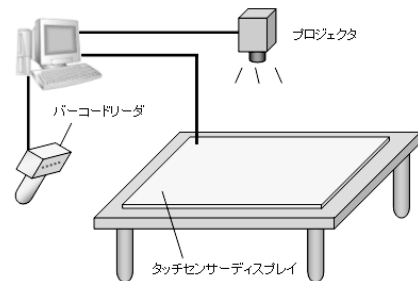


図2 システム構成

Fig. 2 System environment.

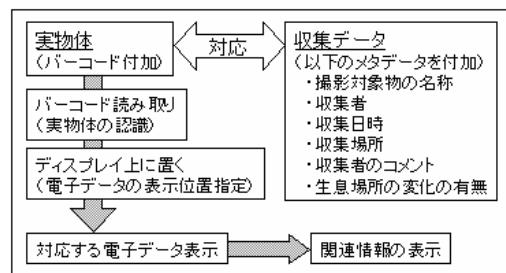


図3 システムの概要

Fig. 3 System outline.



図 4 実装画面

Fig. 4 Sample images.

ことが前提である．バーコードを読み取って地図上に置くことで，その位置に電子化されたデータが表示され，学習者は指を使って電子データに対してさまざまな操作を行うことが可能になる．また，実物体をディスプレイに軽く押し付けながら移動させることで，対応する電子データを移動させることができる．

実装画面を図 4 に示す．ディスプレイ中央部は地図表示領域で，共有作業空間の役割を担っている．外周部はデータ受け渡し領域で，手の届かない学習者にデータを受け渡し役割を担っている．また外周部には後述の時系列データを一覧表示させることもできる．

5.2.1 関連情報の表示

本システムでは，関連情報として「拡大画像」「詳細情報」「時系列データ」「周辺データ」「Web 情報」を表示させることができる．拡大画像を表示させていくつかのデータを見比べたり，詳細情報を表示させてそのデータの収集者・収集日・コメントを閲覧したりすることが可能である．なお，関連情報を表示させるには，情報を表示させたいデジタルデータを指でクリックすることで表示されるポップアップメニューを用いる．

Web 情報は，データに付加した「撮影対象物の名称」というメタデータを用いて情報の検索を行い，検索結果を簡易ブラウザを用いて表示する機能である．

また，以下の条件にあてはまるデータを周辺データとし，データベースに蓄積されたデータの中から必要なデータを抽出し，指定したデータの周りに表示させることができる．

- 収集地点が半径 1 m 程度以内
- 収集日時が一致

なお，データの収集地点は 844 × 588 の 2 次元座標で保持させており，この座標を元に周辺データの抽出を行っている．

また，以下の条件にあてはまるデータを時系列データとし，収集日時の順番に並べてディスプレイ外周部に表示させたレール上に表示させることができる．まず，植物のように生息場所が変化せず一定の地点に生息し続けるものに関しては，

- 収集地点が一致
- 撮影対象物の名称が一致

という条件で時系列データの抽出を行う．この条件を満たすものは，ある特定の生物について，「このタンポポ A」，「あのタンポポ B」というように限定することができる．そしてそれらを収集日時の順に並べて表示することで，その生物がどんな生長過程をとげたかを一覽し学習することができる．

一方昆虫のように生息場所が一定ではなく移動してしまうものに関しては，

- 撮影対象物の名称が一致

という条件で時系列データの抽出を行う．生息場所が移動してしまうものについては，ある特定の生物について限定することができず，その成長過程を追うことができないが，「セミの成虫は夏にしか観察されない」といったことを学習することが可能である．

5.2.2 データの受け渡し

本システムでは，表示されたデジタルデータを指でドラッグして移動させることができる．このような情報の移動方法は我々が現実世界で行っている手法で，直感的で自然な移動方法であるが，大きな作業空間においてはドラッグによりデータを遠くに移動させることは困難である．そこで本システムでは，ドラッグ以外に 2 種類のデータの受け渡し方法を実装した．

まず，データを送り届けたい方向に向かって指で弾き飛ばすようにして受け渡す方法である．このような方法は，ドラッグによる受け渡しと同様に直感的な受け渡し機能であると考えられる．なお，データは画面の端まで移動すると自動的に学習者の見やすい方向に回転するようになっている．

また，図 4 に示したように，ディスプレイ外周部には列車のレールに見立てた画像が背景として表示されており，図 5 のようにその領域を手でこすることで，こすった量にあわせてレール上のデータを移動させることができる．この方法では，複数のデータを重ねて送ることができ，作業を効率的に行うことができる．なお，レール上のデータはすべて移動するため，複数のデータの順序をキープしたまま受け渡すことができる．また，地図表示領域とは別に受け渡し領域を設けることにより，地図上で作業中の他の学習者の作業を妨げることなくデータの受け渡しを行える．さらに，



図5 レールを用いたデータの移動

Fig. 5 A method for exchanging contents by using rail.

自分が操作し終えたデータをレール上に載せておくことで、そのままそのデータを放置しておく場合に比べて、そのデータがレール上を移動する際に他の学習者の目にとまりやすくなるため、学習者が有用な情報を発見できる可能性が向上すると考える。なお、レール上にデータを移動させると、自動的に学習者が見やすい方向に画像の向きが回転するようになっている。

以上のような機能により、ディスプレイを挟んだ対岸の学習者とのコミュニケーションが生まれ、より効果的な学習を行うことが可能になると考える。

6. システム評価

本研究の目的である「現実空間と情報空間における学習を組み合わせることで、両者の利点を活かした学習を行うこと」、「協調学習を支援すること」が実現できていることを確認するため、情報アクセスとデータの受け渡しという観点から、以下の実験を行った。

6.1 実験 1

6.1.1 目的

情報空間における学習の特徴として、短時間で情報アクセスが考えられる。そこで、従来の紙媒体を用いた方法と、本システムを用いた方法とで、どちらがより短時間で必要な情報を発見できるかを測定する。ここでは、周辺データおよび時系列データを探し出し、画像の代わりに表示させた文字を読み取ることにより特定オブジェクトを発見するまでの時間を計測する。本システムは小学生を対象としているが、「発見」という点では大学生との間に差はないと考え、本実験は大学生を対象に行った。

6.1.2 実験手順

被験者は学生 18 名 (22 歳 ~ 24 歳) である。

紙媒体を用いた方法

実験を始める前に、2 章で述べた従来の野外学習の

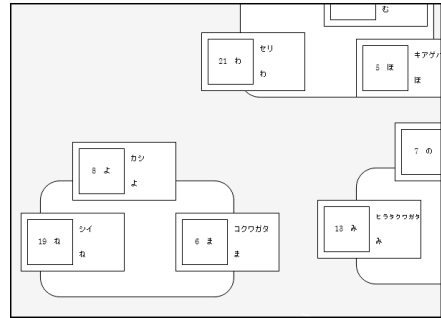


図6 データを印刷した用紙 (一部拡大)

Fig. 6 A paper for traditional method.

方法について被験者に説明した後、現在被験者が置かれている状況について、以下のように説明した。

- 説明したような授業に参加しており、データを貼り付けた模造紙を使って復習を行っている。これまでにこのような授業を 15 回行っており、15 枚 (15 日分) の模造紙が蓄積されている。15 枚の模造紙は古いものを上にして順に重ねて用意しており、最新の模造紙 (今回収集したデータが貼り付けられている模造紙) がそれと別にある。そして、これから「昆虫の成長と、その周辺に生息している植物」について学習しようとしている。

実験に先立って被験者に対して以下の点を説明した。

- 今回は A3 判の紙を模造紙として使用し、データを貼り付ける代わりに同じ日のデータを 1 枚の模造紙にまとめて印刷してある。図 6 に模造紙の一部を拡大したものを示す。模造紙には、それぞれ 21 種類のデータが印刷され、それらは昆虫 1 つ植物 2 つの計 3 つずつ 7 つのエリア (地理的に近隣で収集されたものをまとめたもの) に分類されている。各エリアの 3 つのデータは四角い枠で囲って図示してある。15 枚の模造紙を通じて、7 つのエリアは同じ位置に描かれている。なお、地図を想定しているので、ある 1 つのデータについては 15 枚すべてにおいてある程度似通った位置に貼付されている。本実験では、データの画像部分に写真を用いずに、その代わりに「5 ほ」「10 れ」といった数字と文字の組を描いたものを用いている。文字セットはランダムに割り当てられており、同じ動植物でも 15 枚の模造紙上で異なった文字セットが描かれている。これは、あるデータに関する情報を発見・読み取ったことを、回答用紙に読み取った文字を書くという被験者の作業から読み取るためである。

実験者が指示した 2 種類の昆虫について、その時

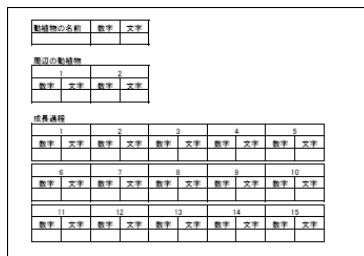


図 7 文字セット記入用紙(半分)

Fig. 7 A paper for copying character set.

系列データおよびその周辺に生息していた植物を読み取ってもらい、その時間を計測した。実際に行った手順は以下のとおりである。

- (1) 実験者が 2 種類のデータ (ミヤマクワガタ, ヒラタクワガタ) の文字セットを読み上げた。
- (2) 今回収集したデータを貼り付けた模造紙を用いて, (1) で指示した 2 種類のデータについて被験者に周辺データを読み取ってもらった。なお, 被験者が周辺データを読み取ったことを確認するため, 記入用紙 (図 7 に示したものを上下に 2 つ印刷したもの) を用いて周辺データの文字セットを書き写してもらった。記入用紙に記入し終わるまでの時間を計測した。
- (3) 蓄積されたすべての模造紙を用いて, (1) で指示した 2 種類のデータについて被験者に時系列データを読み取ってもらい, 記入用紙に文字セットを書き写してもらった。記入は古いものから順に行い, 記入用紙に記入し終わるまでの時間を計測した。

本システムを用いた方法

まず, 実験に使用したものは別のデータセットを使用して被験者にシステムを操作してもらい, システム操作に慣れてもらった。まず実験者が必要操作を実演しながら以下の点について説明し, その後被験者がそれらの操作について 5 分程度使い慣れてもらった。

- 関連情報の表示方法。
- 時系列データは左手手前から反時計回りに古い順に並んでいる。
- ドラッグおよびルールによるデータの移動手法。

実験者が指示した 2 種類の昆虫について, その時系列データおよびその周辺に生息していた植物を読み取ってもらい, その時間を計測した。実験は以下の手順で行った。

- (1) ディスプレイ上には 7 つのエリアからそれぞれ 1 つの (昆虫の) データを表示させておいた。
- (2) 実験者が 2 種類のデータ (キアゲハ, サツマシ

表 1 関連データの読み取りに要した時間

Table 1 Result of Experiment 1

	紙媒体 [sec]	本システム [sec]	t 値	p 値
周辺データ	11.8 (1.4)	13.9 (2.6)	-3.09	4.6E-03
時系列データ	258.7 (45.8)	143.7 (34.4)	8.51	9.9E-10
合計	270.5	157.6		

() 内は標準偏差

ジミ) の文字セットを読み上げた。

- (3) 指示した 2 種類のデータについて被験者に周辺データを読み取ってもらい, 記入用紙に文字セットを書き写し終わるまでの時間を計測した。
- (4) 指示した 2 種類のデータについて被験者に時系列データを読み取ってもらい, 記入用紙に文字セットを書き写し終わるまでの時間を計測した。

6.1.3 実験結果および考察

全被験者についての計測時間の平均値をまとめた表 1 より, 従来の紙媒体を使った方法に比べ, 本システムを用いた場合には, 関連データ (周辺データおよび時系列データ) に描かれた文字セットを読み取るまでの時間が 58% と大幅に短縮されたことが分かる。ここで, 周辺データと時系列データに分けて考察する。周辺データに関しては, 危険率 5% の t 検定を行い 2 つの方法の間の差を検討したところ, $t = -3.09$, $p = 4.6E-03$ より, 有意差が認められた。模造紙を用いた場合には, 最上にある最新版の模造紙上に周辺のデータがあらかじめ表示されているために, 周辺データを一覧でき, それらを発見するまでの時間があまりかからなかったと考える。一方本システムを用いた場合には, あらかじめ周辺データは表示されておらず, ポップアップメニューを用いて表示させるという操作が必要であったために多少時間がかかってしまったと考えられる。しかし, その差は 2 秒以内であり, 周辺データを表示させるのに必要な操作は十分実用的であるということが確認できた。時系列データに関しても, 危険率 5% の t 検定を行ったところ, $t = 8.51$, $p = 9.9E-10$ より, 2 つの方法の間に有意差が認められた。これは, 模造紙を用いて成長を調べる際には, 模造紙を切り替える (めくる) 必要があり, 時系列データを探し出すのに必要な手間が大きいためだと考える。一方本システムを用いた場合には, データが保持しているメタデータを用いて自動的に時系列データを取得することができるため, そのような手間が必要ない。また, 取得したデータはディスプレイ外外部に収集した日時の順に表示されるので, 時系列を追った学習が容易であり, 短時間で読み取ることができたので

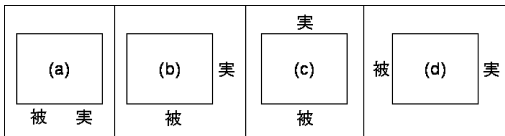


図 8 被験者と実験者の立ち位置

Fig. 8 Positions of subject and experimenter.

あろう。

以上の結果から、本システムを用いた場合には、総合的に見ればより短時間で関連データを把握することが可能であることを確認できた。したがって、本実験のように閲覧すべきデータ数が比較的多い場合、現実空間のみにおける学習に比べ、情報空間における学習を組み合わせた学習の方が、情報アクセスの観点から有利であることが確認できた。

6.2 実験 2

6.2.1 目的

実装した 3 種類のデータの受け渡し機能（ドラッグ、弾く、ルール）の有効性を確認するため、どのような状況においてどの機能が使用されるかを調べる。

6.2.2 実験手順

被験者は学生 10 名（22 歳～24 歳）である。

実験にあたり、被験者に対して以下の点について説明するとともに、システムに慣れてもらうために 5 分程度操作してもらった。

- 現在被験者は自分の目の前の空間で、あるデータについて学習しており、そのデータを他の学習者（実験者）に対して送り届けようとしている。
- 3 種類のデータ受け渡し機能の使用方法。
- ルールを用いることで、複数のデータをまとめて、またその順序をキープしたまま送れる。

送り届けもらったデータは以下の 3 種類である。

- データ 1 個
- データ 3 個
- 時系列データ 7 個（順序をキープしたまま）

また、被験者と実験者の立ち位置を図 8 に示す。

図 8 に示した (a)～(d) の 4 種類の立ち位置でそれぞれ以下の手順で実験を行った。

- (1) (時系列データ以外の) 送り届けるデータを被験者の目の前（地図表示領域の端）に表示しておき、それらを実験者に対して送ってもらった。
- (2) 時系列データをルール上に表示させ、それらを実験者に対して送ってもらった。どの機能を使用して送るかは被験者に自由に選択してもらった。
- (3) 送るデータの種類によってどの機能が使用されたかを調べた。

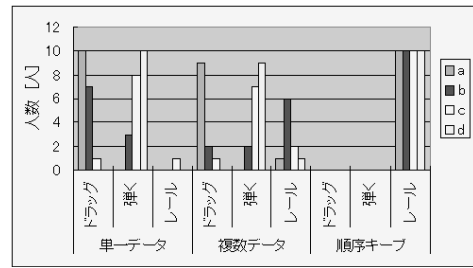


図 9 使用された受け渡し機能

Fig. 9 Result of Experiment 2

6.2.3 実験結果および考察

実験結果をまとめた図 9 より、ユーザの位置や送るデータの種類によって使用する受け渡し機能に違いがあることが分かる。まず、単一のデータを送る際には、ルールはほとんど使用されず、実験者との距離が近い場合にはドラッグ、遠い場合には弾く機能を使用する傾向が見られた。一方、複数のデータを送る際には、ドラッグや弾く機能を使用する割合が減り、ルールを用いる割合が増えている。これは、複数のデータをまとめて送れるというルール機能の特徴を利用したためと考える。また、実験者との距離によって使用する機能に違いが見られたのは、遠い場所までデータを送る場合、ドラッグ以外の機能を使用した方が容易だったためであろう。また、時系列データを送る際には、すべての被験者がルールを用いている。これは、データ数が 7 個と多く、またその順序をキープしたまま送る必要があったためにルール機能を用いたのである。

従来の紙による学習では、複数のデータを束ねて投げて渡すなどさまざまなデータの受け渡しが可能であり、データの受け渡しという観点からは協調学習に向いている。実験では、実装した複数のデータ受け渡し機能が適宜利用されており、紙ベースの学習において可能なデータの受け渡し、本システム上ではデジタルデータに対しても可能であり、データの受け渡しという観点から協調学習を支援できているといえる。

6.3 考察

学習においては、必要な情報を時間をかけて探し出すという作業が知識の獲得につながることも考えられるが、想定している小学校の授業では学習時間が限られており、短時間で必要な情報を把握できることが望ましい。本システムは、評価実験により必要な情報を短時間で把握できることが確認できており、従来の復習方法に比べ、限られた時間内でより多くのことを学習可能であると考えられる。

また協調学習においては、議論や発表が活発に行われることが望ましい。議論や発表は、学習者間で共有

しているデータについて行われるため、学習者間でデータを共有しやすいように支援する必要がある。大型の机上ディスプレイにおいてデータの共有を支援するには、学習者間におけるデータの受け渡しが容易にできる必要があると考える。実装した受け渡し機能の有効性が評価実験により確認できており、これらの機能により学習者間でのデータの共有が容易になり、議論や発表がより活発になると考える。

7. ま と め

現在行われている自然学習の形態は、野外で観察・データ収集を行った後、教室に戻って復習を行うというものであるが、現在の復習方法ではデータの蓄積やデータ間の関連付けが困難であった。そこで本研究では、実世界指向インタフェースを用いた自然学習支援システムを提案した。野外で収集したデータにメタデータを付加させることで、さまざまな関連情報を表示できるようにした。また、従来の方式でも行われている協調学習を実現するため、大型の机上ディスプレイを用いた実世界指向のインタフェースを実装した。本システムでは、実物体とデジタルデータを融合させることで、より深い学習を行えるようにした。また、データの受け渡し方法にも注目し、数種類のデータ受け渡し機能を持たせた。これにより、複数人数での協調学習を効率的に行えるようになった。評価実験からは、提案するデータの提示手法およびデータの受け渡し機能の有効性を確認できた。

本論文ではインタフェースの側面からシステムの評価を行ったが、今後の課題として、教育的効果を測るような評価実験を行う必要があると考える。

謝辞 本研究の一部は、平成 17 年度筑波大学大学院図書館情報メディア研究科プロジェクト研究による。

参 考 文 献

- 1) 畑中忠雄：新訂・若い先生のための理科教育概論，東洋館出版社 (2004)。
- 2) Ovaska, S., Hietala, P. and Kangassalo, M.: Electronic whiteboard in kindergarten: opportunities and requirements, *Proc. 2003 conference on Interaction design and children*, pp.15-22 (July 2003)。
- 3) May, T.S.: Elements of Success in Environmental Education through Practitioner Eyes, *The journal of Environmental Education*, Vol.31, No.3, pp.4-11 (2000)。
- 4) 岡田昌也，山田暁通，吉田瑞紀，垂水浩幸，粥川隆信，守屋和幸：現実・仮想経験拡張型システム DigitalEEII による協調型環境学習，情報処理学

会論文誌，Vol.45, No.1, pp.229-243 (2004)。

- 5) Wellner, P.: Interacting with paper on the digital desk, *Comm. ACM*, Vol.36, No.7, pp.86-96 (1993)。
- 6) 日本教育工学会：教育工学事典，実教出版 (2000)。
- 7) 呉 宣児，無藤 隆：自然観と自然体験が環境価値観に及ぼす影響，*環境教育*，Vol.7, No.2, pp.2-13 (1998)。
- 8) Koike, H., Sato, Y. and Kobayashi, Y.: Integrating Paper and Digital Information on EnhancedDesk: A Method for Realtime Finger Tracking on an Augmented Desk System, *ACM Trans. Computer-Human Interaction*, Vol.8, No.4, pp.307-322 (2001)。
- 9) Rekimoto, J.: SmartSkin: An Infrastructure for Freehand Manipulations on Interactive Surfaces, *CHI2002*, pp.113-120 (2002)。
- 10) Sugimoto, M., Hosoi, K. and Hashizume, H.: Caretta: A system for supporting face-to-face collaboration by integrating personal and shared spaces, *Proc. CHI'04*, pp.41-48 (2004)。
- 11) Deguzman, E., Ho-Ching, F.W.-l., Matthews, T., Rattenbury, T., Back, M. and Harrison, S.: EEWWW!: Tangible Instruments for Navigating into the Human Body, *Extended Abstracts of CHI'03*, pp.806-807 (2003)。
- 12) 北原圭吾，丸山祐太，井上智雄，重野 寛，岡田謙一：実世界指向インタフェースを用いた時空間コンテンツによる協調学習支援システムの開発，情報処理学会第 56 回 GN 研究会，pp.37-42 (2005)。
- 13) Rekimoto, J.: A multiple-device approach for supporting whiteboard-based interactions, *Proc. CHI'98*, pp.344-351 (1998)。
- 14) Minneman, S. and Harrison, S.: A bike in hand: a study of 3-d objects in design, *Analyzing Design Activity* (1996)。
- 15) 清川 清，マーク・ピリングハースト，ダニエル・ベルチャ，アルナブ・グプタ：拡張現実感インタフェースを用いた対面協調作業のコミュニケーション過程，日本バーチャルリアリティ学会論文誌 (2002)。
- 16) Ishii, H. and Ullmer, B.: Tangible bits: towards seamless interfaces between people, bits and atoms, *Proc. CHI'97*, pp.234-241 (1997)。

(平成 18 年 5 月 8 日受付)

(平成 18 年 7 月 4 日採録)

推 薦 文

近年，テーブルトップインタフェースの研究が急速に進展している。本論文は，小学校の自然学習の授業で得る学習コンテンツを対象とし，これをテーブルトッ

プリンタフェースを用いた実世界指向インタフェースで取り扱う自然学習支援システムを提案し、実験を行い、その効果を紙媒体と比較などしている。新規性、有用性のいずれにも優れている論文と考えられ、推薦論文に値すると判断した。

(グループウェアとネットワークサービス研究会主査
宗森 純)



北原 圭吾 (学生会員)

2005年慶應義塾大学理工学部情報工学科卒業。現在、同大学大学院理工学研究科開放環境科学専攻修士課程在学中。ヒューマンインタフェースと協調学習支援の研究に従事。



井上 智雄 (正会員)

1998年慶應義塾大学院理工学研究科計測工学専攻博士課程修了。博士(工学)。筑波大学大学院図書館情報メディア研究科助教授。国立情報学研究所連携研究部門客員助教授(連携)。社会的インタラクションの理解と支援、CSCW、先進的学習システムの研究に従事。本会論文賞、同山下記念研究賞ほか受賞。グループウェアとネットワークサービス研究会幹事、日本VR学会サイバースペース研究会運営委員。教育システム情報学会、人工知能学会、ACMほか各会員。



重野 寛 (正会員)

1990年慶應義塾大学理工学部計測工学科卒業。1997年同大学大学院理工学研究科博士課程修了。1998年同大学理工学部情報工学科助手(有期)。現在、同大学理工学部情報工学科助教授。工学博士。計算機ネットワーク・プロトコル、モバイル・コンピューティング、マルチメディア・アプリケーション等の研究に従事。著書『~ネットワーク・ユーザのための~無線LAN技術講座』(ソフト・リサーチ・センター)、『コンピュータネットワーク』(オーム社)等。電子情報通信学会、IEEE、ACM各会員。



岡田 謙一 (フェロー)

慶應義塾大学理工学部情報工学科教授、工学博士。専門は、CSCW、グループウェア、ヒューマン・コンピュータ・インタラクション。情報処理学会誌編集主査、論文誌編集主査、GW研究会主査等を歴任。現在、情報処理学会MBL研究会運営委員、BCC研究グループ主査、日本VR学会理事、CS研究会委員長。情報処理学会論文賞(1996年、2001年)、情報処理学会40周年記念論文賞、日本VR学会サイバースペース研究賞、IEEE SAINT'04最優秀論文賞を受賞。情報処理学会フェロー、IEEE、ACM、電子情報通信学会、人工知能学会各会員。