

Referred Conference Paper

テーブルトップインタフェースによる 協調学習支援システムの評価

北原 圭吾* 丸山 祐太* 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極めて重要であると考えられる。そこで我々は、野外学習活動で取得した学習コンテンツを利用する協調学習支援システムを開発している。本システムは、実世界のオブジェクトとその関連情報を学習者が容易に扱えることを目的とした、テーブルトップインタフェースとなっている。本稿では本システムのインタフェースについて簡単に説明した後、そのインタフェースによる情報の取り扱いと従来の紙によるものとの比較実験について述べる。この結果、本システムでは、より短時間で必要な情報を把握でき、また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。

Evaluation of a collaborative learning support system by tabletop interface

Keigo Kitahara*, Yuta Maruyama*, Tomoo Inoue†, Hiroshi Shigeno* and Kenichi Okada*

We focused on 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 spatio-temporal contents. Temporal data sequence that shows growth of a plant and geographic data collection are presented by the system. Moreover, we implemented methods for exchanging contents on the system that are thought to be suitable for face-to-face collaborative learning. Better information accessibility and better method for exchanging contents are 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なわれるようになった自然学習やボランティアといった体験学習においては、体験そのものも重要であるが、十分な学習を行な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]。しかし、この事前事後の学習が不十分であることを懸念し「学力低下」が叫ばれている。

また近年、「他者との相互作用を通して学習する」CSCLに関するさまざまな研究が行なわれている [2]。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も行なわれている [3][4]。

情報通信技術の発展に伴い、コンピュータの操作方

法も多様化してきており、digital desk[5][6]に代表されるように、「指をさす」「物を動かす」といった日常生活で行なう動作により操作する実世界指向インタフェースに関する研究も盛んに行なわれている。

そこで我々は、小学校の理科の授業を対象とし、実世界指向インタフェースを用いて効果的に野外学習の復習を支援するシステムを提案している。我々は実世界オブジェクト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なう上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ている [8]。本稿では、システムの機能については簡単に説明し、本システムについて行なった評価について詳しく説明する。

以下、2章では野外学習の現状について述べ、3章ではシステム概要について述べ、4章では本システムについて行なった評価について述べ、5章を結びとする。

* 慶應義塾大学大学院理工学研究科開放環境科学専攻
School of Science for OPEN and Environmental Systems,
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 Studies,
Tsukuba University

2 協調型野外学習

2.1 野外学習の現状

従来の野外学習の学習方法は、野外で動植物の写真撮影などをしながらデータを集め、教室に戻ってそれに対する知識を深めるというものである。教室では、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を行なう [1]。議論などの協調学習を行なうことで、個人での学習以上に深い知識を得ることができる [7]。したがって、知識を深めるという意味では教室での復習が重要であると考え、本研究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。

小学校学習指導要領では、動植物に関して地理的な知識（生息場所・周辺情報）と時間的経緯を追った知識（成長過程）の獲得を目標としている。そこで、その両者を効果的に学習できるようなデータの表示方法を考える必要がある。

2.2 野外学習の復習作業の問題点

現在小学校で行われている模造紙を用いた復習方法では、データの蓄積や複数のデータを関連付けた学習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、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、生徒が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上で効果的な学習手段であるが [7]、生徒の発表支援ということは今まであまり考えられていない。

3 野外学習支援システム

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なうことのできるシステムを開発した [8]。

システムの構成を図 1 に示す。プロジェクターを用いて映像を下方から投影し、ラックの天板に設置した鏡に反射させて、水平に寝かせた感圧式の 47 型タッチパネルディスプレイに投影している。実世界オブジェクトの認識はバーコードを用いて行なっている。

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おり、また写真やスケッチといった実世界オブジェクトをディスプレイ上に置いてそれを電子的に認識させることが可能である。実世界オブジェクトを扱えるようにすることで、通常のディスプレイからは得られない触感や匂い



図 1: システム構成

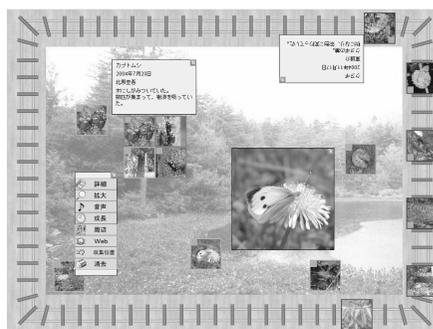


図 2: 実装画面

といった視覚情報以外の情報を得ることができる。また、実世界オブジェクトを置くことで認識させるインタフェースは、生徒が発表する際に有効であると考えられる。

3.1 システムの機能

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デジタルデータに対してさまざまな操作を行なうことが可能になる。

実装画面を図 2 に示す。ディスプレイ中央部は地図表示領域となっており、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となっており、他の学習者にデータを受け渡し役割を担っている。

3.1.1 関連情報の表示

本システムでは、収集したデータに付加させたメタデータを用いてデータの関連付けを行ない、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。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。「周辺データ」は、「指定したデータの地理的周辺データ」であり、指定したデータの周りに表示される。また「時系列データ」は、データベース上に蓄積されたデータの中から、データに付加した位置情報を用いて指定したデータと同じ地点で収集されたデータを抽出することで得られる、「指定したデータがどのような成長を遂げたかを示すデータ」であり、ディスプレイの外周に収集日の順に表示される。

3.1.2 データの受け渡し

大型の机上ディスプレイを用いた場合、遠くのデータを操作できないという問題が生じる。複数人での作業を円滑に行なえるようにするには、自由にデータを移動できるよう支援する必要がある [9]。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機能のほかに、データの受け渡しを支援する機能を2つ実装した。まず、データを指で弾き飛ばすようにして相手に渡す方法で、直感的な受け渡し方法であると考えた。また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、この領域を指でこすすることで、こすった量に合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、幾つかのデータをひとまとめにして送ることができ、作業を効率化することができる。またレール上をデータが移動することで、さまざまなデータが学習の目に留まりやすくなる。なお、弾く方法では1秒程度で、レールによる方法では2秒程度で対岸の学習者までデータを受け渡すことができる。

4 システム評価

4.1 実験1

4.1.1 目的

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採り出し、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無いと考え、本実験は大学生を対象に行なった。

4.1.2 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、被験者に対して従来の野外学習の復習方法について以下のように説明した。

- まず、生徒たちが野外で写真を撮影しデータを集める。その後教室に戻り、集めたデータを持ち寄って写真を模造紙に貼り付けながらコメントを書き込むといった復習を行なう。なお、同じ日に集めたデータは1枚の模造紙にすべて貼り付ける。

さらに、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なっている。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3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。これは周辺データを表している。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、ある1つのデータについては15枚全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。実際に行なった手順は以下の通りである。

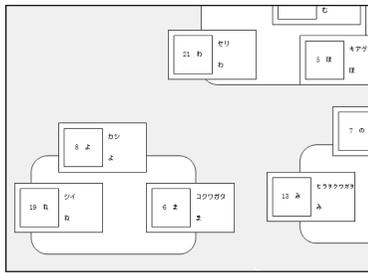


図 3: データを印刷した用紙 (一部拡大)

図 4: 文字セット記入用紙

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)についてそ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, 図4の記入用紙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. 蓄積された全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ない, 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, システム操作に慣れてもらうため, 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。

- 詳細情報, 拡大画像, 周辺データ, 時系列データの表示方法。
- 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。
- ドラッグおよびレ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なった。

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, サツマシジミ)についてそ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。

4.1.3 実験結果および考察

表 1: 関連データの読み取りに要した時間

	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, p値は両側

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わかる。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検定を行ない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、最も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掛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掛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。時系列データについても、危険率5%のt検定を行なったところ、 $t=8.51, p=9.9E-10$ 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周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あろう。

以上の結果から、本システムを用いた場合には、より効率的に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。

4.2 実験2

4.2.1 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、レール)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。

4.2.2 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こと。
- 3種類のデータ受け渡し機能の使用方法。
- レ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こと。

送り届けて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5に示す。

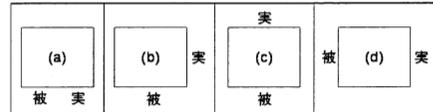


図5: 被験者と実験者の立ち位置

図5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なった。

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り届けてもらった。
2. 時系列データをレール上に表示させ、それらを実験者に対して送り届けてもらった。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。

4.2.3 実験結果および考察

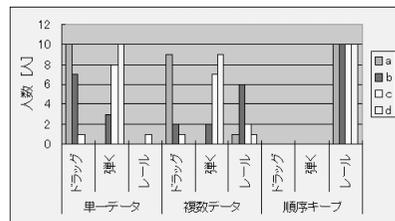


図6: 使用された受け渡し機能

実験結果をまとめた図6から、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わかる。まず、単一のデータを送る際には、レ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、レ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、またその順番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ろう。

従来の紙による学習では、本システムでのドラッグに相当する方法しか提供されていない。実験では本システムのドラッグ以外のデータ受け渡し方法も適宜利用された。この2つのことから従来方法と同等以上のデータ受け渡し方法を実現しているといえる。

4.3 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繋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な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なわれる。したがって、議論や発表が活発に行なわれるためには、学習者間におけるデータの受け渡しが活発に行なわれ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活発なデータの受け渡しが促進され、議論や発表がより活発になると考える。

5 まとめ

現在行なわれている野外学習の形態は、野外で観察・データ収集を行なった後、教室に戻って復習を行な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野外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、関連情報を表示できるようにしたほか、3種類のデータの受け渡し機能を実装した。そして評価実験を行なったところ、提案するデータの提示手法により、必要な情報を短時間で把握可能であることを確認でき、またデータの受け渡し機能の有効性についても確認できた。

今後の課題としては、動画や香りといった多様なメディアへの対応や、協調学習を支援するさらなる機能の実装といった点が挙げられる。

謝辞

本研究の一部は、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及び科学研究費補助金16700244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] Saila Ovaska, Pentti Hietala, Marjatta Kangasalo: Electronic whiteboard in kindergarten: opportunities and requirements, Proceeding of the 2003 conference on Interaction design and children, July, pp.15-22, 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] Pierre Wellner: Interacting with paper on the digital desk, Communications of the ACM, Vol.36, No.7, pp.86-96, 1993.
- [6] Hiroshi Ishii, Brygg Ullmer: Tangible bits: towards seamless interfaces between people, bits and atoms, Proceedings of CHI'97, pp.234-241, 1997.
- [7] 日本教育工学会: 教育工学事典, 実教出版, 2000
- [8] 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.
- [9] Jun Rekimoto: A multiple-device approach for supporting whiteboard-based interactions, Proceedings of CHI'98, pp.344-351, 1998