

# 操作者を識別可能な協調学習用 多点認識テーブルトップインタフェース

北原 圭吾\* 丸山 祐太\* 井上 智雄† 重野 寛\* 岡田 謙一\*

初等教育では野外での学習活動が行なわれているが、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。多点認識可能なディスプレイを用いることで、複数の操作者を識別可能であり、また共有空間内の電子情報の向きにも着目したインタフェースとなっている。

## Multi-touch input tabletop interface for a collaborative learning that identifies individual users

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 improved interfaces of this system by using DiamondTouch that supports multi-touch input. We implemented methods for rotating contents on the system to make contents legible.

### 1 はじめに

近年の学校教育は教育の個性化や多様化を促進する方向に進みつつあり、多くの学校で自然学習やボランティアといった体験学習が行なわれている。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。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 [1]。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 [2]。

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[4]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 [5]。本稿では、多点認識可能なディスプレイを用いて改良を行なった本システムのインタフェースについて説明する。

\* 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  
Information and Media Studies,  
University of Tsukuba

以下、2章では野外学習の現状について、3章では多点認識ディスプレイに関する関連研究について、4章ではシステム概要について述べ、5章を結びとする。

## 2 協調型野外学習

### 2.1 野外学習の現状

従来野外学習について説明する。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野外環境で観察したい動植物についての予備知識を得る。そして事前学習で得られた知識を元に、野外に出て動植物の観察を行なう。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。事後学習としては、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をしたり、再び図鑑などを用いて調べ学習を行なうことで、さらに知識を深める。各自が集めてきたデータをまとめて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 [6]。

近年、このような形態で行なわれる野外学習を支援する研究がいくつか行なわれており、岡田らは、野外環境において観察などを行なう現実参加者と遠隔地の仮想参加者が、音声・映像情報を介して実時間で環境学習活動を共有可能なシステム DigitalEE II を提案している [2]。これらの研究は主に野外環境における学習活動を支援するものである。野外環境における観察などの実体験学習の重要性は極めて高いが [3]、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。そこで本稿では、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。また一部の学校ではコンピュータを用いて簡単なデータベースを作るような授業を行なっているが、生徒間のコミュニケーションが取りにくいために個別の作業になりやすい、操作に慣れるまでに

時間がかかる、といった問題点がある。

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 [6]。生徒の発表をタンジブルインタフェースを用いて支援する研究 [7] が行なわれているが、ここで利用されている実世界オブジェクトは発表を間接的に支援するものである。野外学習においては、写真や採集物といった実世界オブジェクトそのものが発表の対象であり、そのような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。そこで、生徒が学習するのに効果的な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が必要である。

## 3 多点認識ディスプレイ

我々はこれまでに、テーブルトップインタフェースを用いて野外学習を支援するシステムについての研究を行ってきた。本研究では、多点認識可能なディスプレイを用いてシステムの改良を行なったが、ここでは多点認識可能なディスプレイについて関連研究を紹介する。さらに、本システムにおいて使用しているディスプレイについて簡単に特徴を説明する。

### 3.1 多点認識可能なディスプレイ

暦本らの SmartSkin [8] を使用した対話型テーブルシステムは、テーブル型のディスプレイに投影されたコンテンツを、手や指を用いて複数人同時に操作できる。このシステムでは、格子状の電極がテーブルの上面に入っており、格子の各交点と人体との距離を、静電容量変化によって計測する。指先の動きによるジェスチャー認識も取り入れたシステムである。

また、Roberto Lopez-Gulliver らの SenseWeb [9] は、赤外線を使用した画像解析により、手の動作認識を行っている。この方法では、スクリーン自体には大掛かりな仕掛けは必要ないが、照明設定が必要になる。このシステムでは、手の大きな動きをジェスチャーとして認識することも可能である。

### 3.2 本システムの多点認識

本システムでは、多点認識可能なディスプレイ DiamondTouch [10] を使用している。本装置は、前面投射型のテーブル型ディスプレイで、最大 4 人までのユーザによる同時操作が可能なタッチセンサ式ディスプレイである。また、本装置の大きな特徴として、特殊な RFID ペンなどを使わずに、複数のユーザによる

入力をそれぞれ別のもので扱うことで、どの入力  
がどのユーザによるものであるかを認識することが  
できる。

DiamondTouch の表面には、それぞれがユニークな  
信号を発信する多数の微小な送信アンテナが埋め込  
まれている。また本ディスプレイには、受信アンテナ  
端子である 4 枚のシートが接続されており、本シ  
ステムを使用するユーザは、シートの上で立ったり  
シートを敷いた椅子に座るなどしてこのシートに  
触れている必要がある。シートに触れた状態で  
ディスプレイ上の任意の点に触れると、そこに  
位置する微小アンテナとユーザの身体との間に  
微小な電流が流れるので、受信された信号を  
解析することで、触れている点の座標および  
触れているユーザの ID 番号を独立に同時に  
判別可能することができる (図 1)。なお、こ  
こでいうユーザの ID 番号とは、ユーザがどの  
シートに触れているかを表している。なお、  
図 2 のシステム構成図内に示された椅子の上  
に敷かれているものがユーザ認識用のシート  
である。

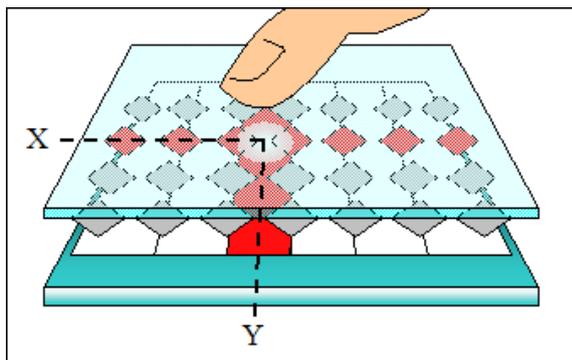


図 1: DiamondTouch ディスプレイ

## 4 野外学習支援システム

第 2 章で挙げた問題点を受け、複数人の学習者が  
協動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 [5]。

システムの構成を図 2 に示す。プロジェクターを  
用いて映像を下方から投影し、ディスプレイの上  
方に設置した鏡に反射させて、水平に寝かせた  
大型のタッチパネルディスプレイに投影している。  
大型のタッチセンサ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。またこのような構成にすることで、物  
を置くといった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。また本システムでは、写真やスケッチ  
といった実物体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。な  
お、実物体の認識はバーコードを用いて行な  
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。

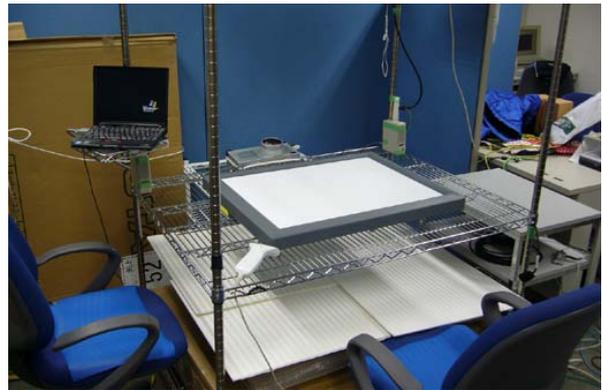


図 2: システム構成

### 4.1 協調学習を支援するインタフェース

今回想定している授業のように、複数人が集  
まって作業を行なう場合には、個人での作業  
だけでなく、複数人での作業を円滑に行なえ  
るように支援する必要がある。複数のユーザ  
が協調作業を行なうための「共有作業空間」  
と、各ユーザが個人的な作業を行なうため  
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。テー  
ブルトップインタフェースにおいては、実物  
体に関しては手渡しによる受け渡しが可能  
であるが、デジタルデータに関してもその  
ような受け渡し方法が必要となる。本シ  
ステムでは、共有作業空間と個人作業空間  
の間での情報の移動だけでなく、個人作  
業空間と個人作業空間の間での情報の移  
動もサポートしている。

さらに、多点認識可能なタッチセンサ式  
ディスプレイ DiamondTouch を利用するこ  
とで、複数の学習者が同時に作業を行なう  
ことが可能になり、他の学習者の操作状  
況などを気にする必要がなくなり、単点  
認識ディスプレイを使用した場合に比べ  
て、より学習者がコンピュータを意識せ  
ずに操作することができると考えられる。  
また共有空間内における電子情報の向  
きに着目し、電子情報を自動的にユーザ  
の方向に回転させるこ

とで、ユーザにとって情報を認識しやすいインタフェースとなっていると考える。

## 4.2 実世界オブジェクトの利用

本システムのインタフェースの特徴は、写真や模型などの実物体を用いたインタフェースとなっている点である。このようにすることで、実物体を介した対面のコミュニケーションが生まれ、個人での学習よりも高い学習効果が期待される。

また、実物体には、物理的な移動が容易でシステムに依存せずに取り扱えるという利点がある。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」、「通常のディスプレイのように2次元的な表現にとどまらず、3次元的視野からの学習を容易に行なえる」「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」[11]、などの効果がある。また、野外で採集した草花や昆虫からは、通常のディスプレイからは得られない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、その両者をともに扱えるようにすることで、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ー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実物とデジタルデータを融合させることで、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、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[12]。実物体を置くという動作は生徒が発表する際には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 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。実物体に付加した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



図 3: 実装画面

とが可能になる。

実装画面を図3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、手の届かない学習者にデータを受け渡す役割を担っているほか、後述する時系列データを表示し一覧することができる。

### 4.3.1 複数人同時の操作

本システムでは、多点認識可能なタッチディスプレイ DiamondTouch を使用している。これまでの研究では単点認識のみ可能なディスプレイを使用していたため、複数人同時の操作が不可能であった。本研究では多点認識可能なディスプレイを使用することで複数人同時の操作が可能になり、より円滑な協調学習を支援できると考える。

### 4.3.2 電子情報の見易さ向上のための機能

テーブルトップのディスプレイを囲みながら操作を行なう場合、ディスプレイ上に表示した文字情報や画像情報のがユーザの方向以外を向いている場合、それらの情報を読み取りにくいという問題点がある。そこで、テーブルトップのディスプレイ上に表示する情報の向きという観点からインタフェースを工夫する必要がある。

本研究では、DiamondTouch を用いて取得した、ディスプレイ上のどの点にどのユーザが触れているかという情報を利用して、ディスプレイ上に表示した電子情報をユーザが読み取りやすくするために、インタフェースの改良を行なった。具体的には、以下のような機能を実装した。

1. あらかじめ、ユーザ特定用のシートに関して、どのシートがどの位置に設置されているか（シートとディスプレイの位置関係）を登録しておく
2. ディスプレイ上で操作中のユーザのユーザ ID およびそのユーザがタッチしているディスプレイ上の座標を取得する
3. ディスプレイ上に表示されたさまざまな電子情報のうち、どの電子情報をどのユーザが操作しているかを判別する
4. 操作中の電子情報を操作中のユーザの向き（ユーザが触れているシートの向き）に自動的に回転させる

この機能により、文字情報や画像情報といった電子情報が、その情報を操作しているユーザの方向になり、情報をユーザが読み取りやすくなる。

#### 4.3.3 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。詳細情報によりそのデータの収集者・収集日・コメントを閲覧することができ、Web 情報により、より幅広い知識を検索することができる。関連情報を表示させるには、情報を見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」を表し、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が抽出される。具体的には、以下の条件に当てはまるものを周辺データとする。なお周辺データは指定したデータの周りに表示される。

- 収集地点が半径 1m 程度以内
- 収集日時が一致

「時系列データ」は「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」を表し、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が抽出される。具体的には、以下の条件に当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れる。

- 植物

- － 収集地点が一致
- － 撮影対象物の名称が一致

- 動物

- － 撮影対象物の名称が一致

#### 4.3.4 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。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、直感的な受け渡し方法であると考えた。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3に示したように、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。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。

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。

## 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。

そこで我々は、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開発し、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。また、テーブルトップインタフェースにおける協調学習を支援するため、3種類のデータの受け渡し機能を実装した。

本研究では、さらに効果的な協調学習支援を行なうため、多点認識可能なディスプレイ DiamondTouch を用いてシステムのインタフェースを改良した。これに

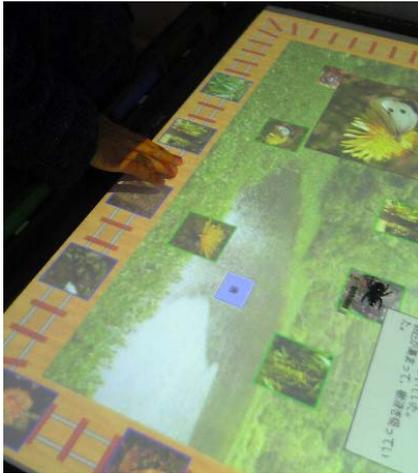


図 4: レールを用いたデータの移動

より複数人同時の操作が可能になり、また操作者の特定も可能になった。さらに、テーブルトップのディスプレイ上に表示させた電子情報を操作者の向きに自動的に回転させる機能を実装し、電子情報を認識しやすくなった。

今後の課題としては、今回改良を加えたインタフェースに関する評価実験の実施のほか、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] 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.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] Pierre Wellner, "Interacting with paper on the digital desk", Communications of the ACM, Vol.36, No.7, pp.86-96, 1993.
- [5] 北原圭吾, 丸山祐太, 井上智雄, 重野寛, 岡田謙一, "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", 情報処理学会 GN ワークショップ 2005, pp.81-86, 2005.
- [6] 日本教育工学会: 教育工学事典, 実教出版, 2000
- [7] Tom Moher, Ben Watson, Janet Kim, Claudia Hindo, Louis Gomez, Stephen Fransen, Tim McEneaney, "StoryGrid: a tangible interface for student expression", ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2005) Extended Abstracts, pp.1669-1672, 2005.
- [8] Jun Rekimoto, "SmartSkin: An Infrastructure for Freehand Manipulations on Interactive Surfaces", CHI2002, 2002.
- [9] R. Lopez-Gulliver, H. Tochigi, T. Sato, M. Suzuki, "SenseWeb: Collaborative Image Classification in a Multi-User Interaction Environment", ACM Multi-media 2004, 2004.
- [10] Dietz, P., Leigh, D., "DiamondTouch: A Multi-User Touch Technology", ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST), pp.219-226, 2001.
- [11] Masanori Sugimoto, Kazuhiro Hosoi, Hiromichi Hashizume, "Caretta: a system for supporting face-to-face collaboration by integrating personal and shared spaces", Proceedings of ACM CHI2004, pp.41-48, 2004.
- [12] Minneman S. and Harrison S, "A bike in hand: a study of 3-d objects in design", Analyzing Design Activity, 1996.