

## 実世界と仮想世界から参加可能な 分散仮想環境による環境教育支援

岡田 昌也 吉村 哲彦 垂水 浩幸 守屋 和幸 酒井 徹朗  
京都大学大学院 情報学研究科 社会情報学専攻  
〒606-8501 京都市左京区吉田本町  
075-753-3132(tel), 075-753-3133(fax)

okada@bre.soc.i.kyoto-u.ac.jp, {yoshimu,tarumi,moriya,sakai}@i.kyoto-u.ac.jp

あらまし 実世界と仮想世界から参加可能な分散仮想空間により、環境教育における協調的な学習を支援するシステムを構築した。本システムにより、実世界にいる学習者と仮想世界にいる専門家らが、VRMLにより仮想三次元的に再現された自然空間と、データベース化された学習成果や専門家の知識を相互に共有した上でコミュニケーションすることができる。本システムは実体験に基づく知識のデータベース化、世界中の専門家による遠隔教育、学習者が実際に行くことのできない自然環境への仮想ツアー、環境に関する知識の蓄積による環境保護意識の啓発という従来の環境教育において実現が困難であった諸機能を実現する。

キーワード 分散仮想環境, モバイルコンピューティング, 環境教育, 遠隔教育, 仮想ツアー

## Supporting Environmental Education by Bridging Real and Virtual Worlds

Masaya OKADA Tetsuhiko YOSHIMURA Hiroyuki TARUMI  
Kazuyuki MORIYA Tetsuro SAKAI

Department of Social Informatics, Graduate School of Informatics, Kyoto University

〒606-8501 Yoshida Honmachi, Kyoto, Japan, 606-8501

+81-75-753-3132(tel), +81-75-753-3133(fax)

okada@bre.soc.i.kyoto-u.ac.jp, {yoshimu,tarumi,moriya,sakai}@i.kyoto-u.ac.jp

### Abstract

We have developed a support system for collaborative learning in environmental education by using distributed virtual environment accessible from the real and a virtual world. With this system, learners in the real world and experts in a virtual world can communicate with each other while sharing not only a 3D virtual world implemented with VRML, but learners' achievements and experts' knowledge. It also realizes databases of real experiences, distance learning supported by experts' valuable knowledge, and virtual tours to inaccessible natural environment. The system raise consciousness of environmental protection by providing users with knowledge and information accumulated in the learning process.

key words DVE, mobile computing, environmental education, distance learning, virtual tour

## 1 はじめに

環境教育の目的として広く認知されているのは、「自己を取り巻く環境を自己のできる範囲内で管理し、規制する行動を、一歩ずつ確実にすることのできる人間を育成すること」(国連人間環境会議, 1972)である。

近年環境教育実践において、インターネットの持つ情報交換・情報収集・情報発信などの諸機能が有用である[1]と指摘されている。しかし、それらの機能を環境教育にどのように位置付けるかについて、具体的な指針を獲得するには至っておらず、十分な実践や検証はなされていない[1]。インターネットを用いた環境教育プログラムとして注目される GLOBE[1]は、科学的データを用いて環境教育を実現するという性質上、従来の「理科教育」に近い側面があり、環境教育としては発展段階にある。一方、熱帯雨林など学習者が容易に行くことができない自然環境へのバーチャルリアリティ技術を用いた仮想的な訪問を支援するシステム、訪れた自然環境の中でその経験を補完し理解を助けるシステムに対するニーズが、現在の環境教育において潜在的に存在する[2]が、このようなシステムはいまだ実現されていない。また、環境教育の成功のためには、能力と知識のある教育者が体験学習において学習者を指導することが不可欠である[3]が、体験学習への参加の際に発生する様々な雑用的な所用(旅行の申請、交通の予約など)が彼らの参加を妨げる[4]ため、遠隔教育により彼らが容易に体験学習に参加できる状況の実現が望まれている[5]。

よって、著者らはインターネット、モバイルコンピューティング、バーチャルリアリティ、オーグメンティドリアリティ、遠隔教育などの環境教育における可能性と必要性に注目し、これらの情報技術を効果的に応用した新しい形態の環境教育支援システムを提案する。

## 2 DigitalEE による協調的環境教育

### 2.1 直接経験と間接経験の相互補完

環境教育には、教科書やビデオ教材など間接経験に基づくものと、体験学習など直接経験に基づくものが存在する。環境教育は直接経験のみでも間接経験のみでも効果的に実践することは不可能であり、両者の効果的な相互補完が不可欠である[6]。

### 2.2 DigitalEE によるインタラクション

著者らが構築した DigitalEE (Digital Environmental Education) によるインタラクションを図 1 に示す。DigitalEE は現実の自然環境の中で体験学習を行う学習者、遠隔地から学習者を指導する専門家、遠隔地から仮想ツアーを行う仮想ツアーリストが参加する想定に基づいている。本研究では「仮想ツアー」を仮想的に自然環境を訪問し、擬似体験を通し環境について学ぶこと、「仮想

ツアーリスト」を仮想ツアーを行う人と定義する。学習者は GPS, PHS, デジタルカメラが搭載された携帯端末を用い(図 2)、一方、専門家や仮想ツアーリストは標準的な Windows マシンを用い、DigitalEE へ参加する。彼らは、二次元インタフェース、チャットインタフェースを使いながら、DigitalEE により実現される分散仮想環境[7]に実世界と仮想世界から参加することができる。共有される仮想空間は現実の自然空間を再現した VRML ワールドであり、本研究ではそれを「仮想自然空間」と呼ぶ。参加者は現実の自然空間を実世界と仮想世界において仮想的に共有し、インタラクティブにコミュニケーションすることができる。体験学習をする学習者は自然の中で撮影した写真、動画をサーバに送信し、それらのコンテンツと観察記録を反映した HTML ページを WEB サーバ上に作成し、学習成果を記録・公開することができる。同様に専門家は、自然に関する知識や情報を HTML ページとして記録し、WEB サーバからインターネットへ公開することができる。仮想自然空間内にそれらの HTML ページへのリンクオブジェクトが準リアルタイムに配置されていくため、参加者は共有仮想自然空間内から自由にそれらの情報を参照することができる。なお、参加者間のアウェアネス情報の共有に基づき、互いが見ているページを確認した上でコミュニケーションすることができる。本システムによるプログラムにより、仮想自然空間はある特定の季節にしか咲かない植物など、四季の変化を反映した情報を含むようになる。サーバがそれらを時系列的に管理するため、参加者は他の季節をあらわした仮想自然空間を別ウィンドウから参照しながら、自然環境の四季の変化を観察することができる。

#### 2.2.1 自然の中に実際に存在する学習者

学習者は植生マップと実際の自然とを照らし合わせながら、他の学習者の準リアルタイムに更新される学習成果を参照しながら、観察学習をする。また、現在の自然の様子を別の季節の仮想自然空間と比較しながら観察する。彼らは専門家に不明な点をチャットにより質問し、WEB サーバ上に準リアルタイムに観察記録を残す。

#### 2.2.2 自然の中に仮想的に存在する専門家

専門家は学習者の逐次更新される成果とリアルタイムになされる質問を参照し、学習者に自然環境に関する情報提供をする。同様に、仮想ツアーリストの質問を参照し彼らに情報を提供する。専門家は学習者や仮想ツアーリストに有用な情報を、HTML ページの形にし WEB サーバ上に準リアルタイムに記録する。

#### 2.2.3 自然の中に仮想的に存在する仮想ツアーリスト

仮想ツアーリストは仮想自然空間内をウォークスルーしながら、学習者や専門家とインタラクティブにコミュニケーションし、彼らから現実の自然に関する情報を引き

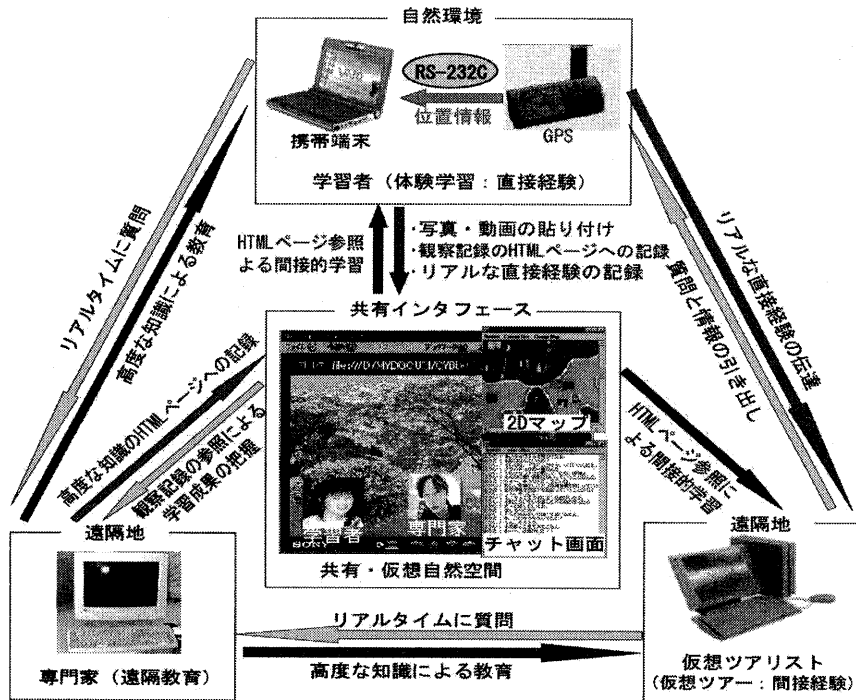


図1 DigitalEEによるインタラクション



図2 体験学習における本システムの使用例

出す。仮想ツアーリストは彼らとコミュニケーションし、彼らが作成した HTML ページを参照することにより間接的に環境について学習する。仮想ツアーリストは学習者が直接経験により得たリアルな情報、専門家の高度な知識に基づく価値ある情報を獲得できる。

## 2.3 学習者のリアルな学習成果の活用

体験学習という直接経験を通して学習者が獲得した知識や情報は、彼ら自身の生の声であり、一元的な価値観により作り出された学校教材を超えるリアリティがあると考えられる。したがって、これを知識資源と捉えデータベース化し、それをういて学習することは直接経験・間接経験いずれに基づく環境教育においても有効である。

また、DigitalEE により、仮想ツアーリストと実際に体

験学習を行っている学習者がリアルタイムかつインタラクティブにコミュニケーションでき、両者が自然環境の中でのリアルな実体験を共有することが可能となる。これにより、擬似体験という間接経験に基づく環境教育に実体験のコンテキストを導入することができ、その効果を高めることができる。

## 2.4 専門家の高度な知識の活用

自然環境に関する専門家は非常に有用で質の高い情報を持つが、一般に専門家が学習者の近くにいることはまれであり、彼らが学習者をサポートすることは現実的に困難である。しかし、DigitalEE により、専門家の持つ高度な知識や多岐にわたる情報を間接経験としてリアルタイムに学習者や仮想ツアーリストに与えることができる。一方、共有知識資源としてデータベース化された専門家の知識や情報を、学習者や仮想ツアーリストが自由に参照することができる。これらにより、専門家の高度な知識や多岐にわたる情報で直接経験・間接経験いずれに基づく環境教育も効果的に補完することが可能となる。

## 3 DigitalEE の実装

### 3.1 システムの概要

システムはサーバ・クライアントモデルで構成され、Java (JDK1.1.8, JDK1.2.2) により開発した。共有仮想自然空間の形状は VRML97 により記述し、その表示ブ

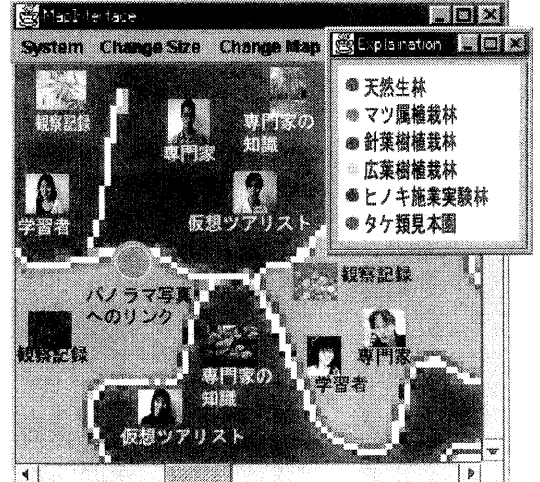


図3 仮想自然空間 (左図) と植生マップ (右図)

ブラウザは Community Place Browser Ver. 2.0 (Sony Corporation)を採用した。サーバの OS は SunOS5.6 でクライアントの OS は Windows98 である。

分散仮想環境は、サーバが各クライアントの位置情報、チャット情報、イベント情報、ログイン・ログアウト情報、アウェアネス情報などを集中的に管理することで実現した。サーバ・クライアント間で空間管理のために必要な情報を TCP/IP で交換することにより、複数クライアント間で一つの仮想自然空間を一貫性のあるものとして共有できる。学習者は GPS により得られる位置情報に基づき、仮想自然空間内の対応する座標にアバタとして描画される。学習者のアバタは GPS からシリアルポートを介して送られてくる位置情報のみにより制御される。一方、専門家や仮想ツアリストらはマウスにより仮想自然空間内をウォークスルーし、ブラウザから獲得される座標値が自らのアバタの位置となる。これらの位置情報に基づき、参加者は二次元および三次元インタフェース上に各々の顔写真ベースのアバタとして表現される (図3)。

### 3.2 三次元・二次元インタフェース

仮想自然空間では、標高データに基づき再現された地形の上に、体験学習の現場にある樹木や草花などが再現されている (図3左図)。一方、二次元マップには図3右図のような植生マップが含まれ、植生分布を任意のスケールで見ることができる。いずれのインタフェースも特定オブジェクトを介し、360度視点移動可能な全方位パノラマ写真へリンクしており、それにより実画像に基づく環境の詳細情報を提供できる。

### 3.3 学習成果と専門家の知識の記録・共有

学習者は、観察対象の写真や動画 (音声を含む) を圧縮し、それをテキストの観察記録、GPS による位置情報とともに一括してサーバに送信することができる。専門家も同様に、写真、動画、自らの知識を記したテキスト文書をサーバに送信できる。WEBサーバとしても機能するサーバは、それらを獲得した後、自らの上にそれらの写真・動画・テキストを反映した HTML ページを作成する。また、その HTML ページを二次元・三次元インタフェースから参照できるように、先の情報の送信者が存在する位置に写真をオブジェクトとして貼り付け、HTML ページへのリンクを生成する (図3)。サーバは、参加者からのファイル獲得時に、参加者間で仮想的に共有している一つの仮想自然空間ファイルに排他的ロックをかけた上で解析し、適当な位置にオブジェクトの形状や位置、必要なファイルの指定、HTML ページへのリンク生成、仮想自然空間ファイルに関連付けられた Java プログラムへのイベントディスパッチングなどを記述したコードを挿入する。参加者は自らが持っていない写真ファイル、仮想自然空間ファイル内のコード領域をサーバからダウンロードし、それらをブラウザでリロードすることにより学習者と専門家の写真を貼り付けた仮想自然空間の最新情報を獲得できる。これにより、学習者は自らの学習成果を、専門家は学習者や仮想ツアリストの質問などに基づく知識や情報を共有仮想自然空間内に記録し、それを参加者間で準リアルタイムに共有することが可能となる。参加者間では、それらをコミュニケーションコンテキストとした発話行為が実現される。

### 3.4 アウェアネス支援

参加者が二次元・三次元インタフェース内のオブジェクトをクリックすると、ブラウザはリンクされた HTML ページを提示する。このときシステムは、そのクライアントの ID と HTML ページの URL をサーバに送信する。サーバはそれらをメモリに格納し集中的に管理するため、クライアントはサーバに対する ID をキーにした問い合わせで、他の参加者が見ているものを知ることができる。

### 3.5 簡易 VRML モデリング機能

本システムにより実世界で撮影した写真を仮想空間内の対応する位置に貼り付けることが可能となる。この機能を用いることで、実際の自然環境の中にある植物などを写真オブジェクトとして仮想空間内に貼り付けることができる。貼り付けた写真の背景などを市販の画像編集用ソフトで後処理すれば、実写真ベースで植物などを再現した仮想自然空間が構築できる。また、当該地の標高データがあれば、より現実に近い空間モデルを構築できる。本システム運用の際には、この機能を用いて学校職員らが仮想自然空間を構築し、プログラムを実施することができる。

### 3.6 現在実装中の機能

現在、学習効果向上のために、遠隔地の専門家が全方位パノラマ写真をテレポインタで指し示し、学習者に自然環境の中で具体的に何に注目して観察すべきか指示できる機能を実装している。また、学習者の学習意欲向上のために、学習者の作成した HTML ページに専門家らが点数やコメントをつけ、学習成果を定量的に評価できる機能を実装している。

また、環境教育においてはオリエンテーリング、クイズラリーなど、ゲーム的要素の教育的効果が指摘されているため、DigitalIEE のオーグメントドリアリティシステムとしての機能をさらに拡張することによって、これにこたえるべくシステム開発を行っている。

### 3.7 通信テスト

PHS を用いて 64kbps で携帯端末からサーバに接続した状況下で、学習者・サーバ間の通信テストを行った。学習者が一枚の圧縮された写真ファイル (約 15KB) の送受信に要する時間は約 1.9 秒、音声を含む 10 秒間の圧縮された動画ファイル (約 70KB) の送信時間は約 8.9 秒であった。これらは理論値に近いが、複数の画像ファイルを一度にダウンロードすることを考慮すればより高速な通信技術の早期実用化が望まれる。一方、仮想自然空間ファイルは差分のみダウンロードできるため通信に

大きな影響はなかった。分散仮想環境における位置情報やチャット情報などは情報量が少ないため、通信における問題はなかった。

## 4 本システムによる実現項目

### 4.1 世界中の専門家らによる遠隔教育

DigitalIEE により、環境に関し十分な知識と高い教育能力をもつ世界中の専門家・有知識者らによる環境教育が実現される。これは、学習者に対する十分な知識の付与が環境に対する態度の変容に望ましい影響を及ぼす [8] という意味においても、非常に重要である。

### 4.2 グローバルなインタラクション

本システムにより、諸外国における環境教育の実践者が他の参加者に自らの活動や経験、実践例の紹介を行ったり、地域の自然環境に興味を持つ遠隔地在住者や外出が困難な長期療養者などが知識と体験を共有し、相互に意見や情報を交換したりすることができる。彼らは仮想ツアーによる疑似体験に加え、地域の自然環境をグローバルな視点から捉え議論することができる。

### 4.3 環境に関する知識の蓄積とその共有

仮想自然空間と HTML ページには、一元的な価値観により作られた従来の学校教材とは異なり、学習者の直接経験に基づくリアリティのある学習成果、それに対する専門家の高度な知識という、非常に有用な情報が含まれる。プログラムへの参加者数、プログラムの実施回数に比例し、WEB サーバ上のこれらの共有知識資源は増大し、様々な場所における環境に関する知識のデータベースが仮想自然空間という形で構築される。

### 4.4 環境問題意識の啓発

価値ある知識や情報の環境教育における有効性は明らかであるが、DigitalIEE により上記の 4.1、4.2、4.3 の項目が実現され、環境教育が知識や情報といった側面から効果的に補完される。本システムにより学習者に与えられる知識や情報は、学習者の環境問題意識の啓発を行うものと期待される。

### 4.5 環境教育のあり方の変容

DigitalIEE により実現される仮想自然空間は、将来的に、環境教育に取り組み人々の一種の電子コミュニティを生成させうる可能性がある。その中で情報技術とかかわりの少ない環境教育が、そのあり方そのものを大きく変容させていくことも十分に考えられる。

## 5 関連研究との比較

### 5.1 分散仮想環境研究として

既存研究は実世界と切り離された仮想空間を共有するものがほとんどであり、たとえ IBNR[9]のように実世界を再現した空間を共有したものであっても、その仮想空間の表すところの現実空間に実際にいる人とリアルタイムにコミュニケーションすることはできなかった。一方、Benford ら[10]は分散仮想環境を用いて実世界の演者と仮想世界の観客とのインタラクションの支援を試みた。この研究では、空間における人々の位置に空間コンテキストとしての価値が見出されたが、共有仮想空間は実世界を再現したものではなく、また演者の位置を実世界と仮想世界において対応付けるための工夫がなかった。本研究のように、現実空間を再現した仮想空間に実世界と仮想世界から参加し、両世界での位置情報の共有に基づくコミュニケーションを支援するシステムの提案はまだまだなされていない。

### 5.2 デジタルシティ研究として

本研究の仮想自然空間はデジタルシティ[11]の一種と捉えることができるが、本システムにより従来静的であったデジタルシティを動的に更新される情報空間として実現することが可能となる。これまで、モバイルコンピュータを用いて実世界からデジタルシティに参加する研究はなされていないが、今後デジタルシティ上に実現される社会に参加することの効果を検証する意味においても本システムの構築には意義がある。

### 5.3 CSCL 研究として

既存の CSCL (Computer Supported Collaborative Learning) 研究では教室における学習を支援する研究が多く、本研究のように教室外の体験学習を支援する研究はほとんどなされていない。本研究の CSCL 研究としての新規性はその点にある。

## 6 まとめ

実世界と仮想世界から参加可能な分散仮想環境により、環境教育における協調的な学習を支援するシステムを構築した。これにより、直接経験と間接経験の効果的な相互補完に基づく環境教育とグローバルな規模での環境教育という、これまで実現が困難であった新しい形態の環境教育が実現される。インターネット上に実現される仮想自然空間は環境教育実践者たちの新しいコミュニケーションプラットフォームとなる。

**謝辞** 本研究に対し貴重なご助言を頂いた京都大学大学院情報学研究所社会情報学専攻石田亨教授に深く感謝の意を表します。なお、本研究の一部は文部省科学研究費基盤研究 B (2)「生物圏情報の高度利用に関する基礎的研究」の補助を得て行ったものである。

## 参考文献

- [1]山田朗, 田所千春: GLOBE 参加学校の担当教員に対するインターネットの利用調査, 環境教育, Vol. 9, No. 2, pp. 45-50 (1999).
- [2]Taylor, G. L. and Disinger, J. F.: The Potential Role of Virtual Reality in Environmental Education, *The Journal of Environmental Education*, Vol. 28, No. 3, pp. 38-43 (1997).
- [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]Simmons, D.: Using Natural Settings for Environmental Education: Perceived Benefits and Barrier, *The Journal of Environmental Education*, Vol.29, No.3, pp.23-31 (1998).
- [5]Kapyla, M. and Wahlstrom, R.: An Environmental Education Program for Teacher Trainers in Finland, *The Journal of Environmental Education*, Vol.31, No.2, pp.31-37 (2000).
- [6]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).
- [7]Lea, R., Honda, Y. and Matsuda, K.: Virtual Society: Collaboration in 3D Spaces on the Internet, *CSCW: The Journal of Collaborative Computing*, Vol. 6, pp. 227-250 (1997).
- [8]Brandley, J. C., Waliczek, T. M. and Zajicek, J. M.: Relationship Between Environmental Knowledge and Environmental Attitude of High School Students, *The Journal of Environmental Education*, Vol.30, No.3, pp.17-21 (1999).
- [9]小川剛史, 塚本昌彦, 西尾章治郎: シーンのつながりを考慮した WWW 上でのコミュニケーションシステム, インタラクティブシステムとソフトウェア VII, 日本ソフトウェア科学会, pp. 77-82 (1999).
- [10]Benford, S., Greenhalgh, C., Snowdon, D. and Bullock, A.: Staging a Public Poetry Performance in a Collaborative Virtual Environment, *Proc. of the Fifth European Conference on CSCW*, pp. 125-140 (1997).
- [11]石田亨: デジタルシティの現状, 情報処理, Vol. 41, No. 2, pp. 163-168 (2000).