

3次元空間を共有するマルチユーザ CSCW 環境と 仮想考古遺跡ウォークスルーへの応用

A multiuser CSCW environment on a virtual 3D space and its application to a virtual ancient ruins walk-through system

坂田義則 八村広三郎

Yoshinori SAKATA, Kozaburo HACHIMURA

立命館大学大学院 理工学研究科

〒 525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1

Graduate school, Ritsumeikan University,

1-1-1 Noji-higashi, Kusatsu, Shiga 525-8577, Japan

あらまし:

近年、コンピュータの高性能化により、アミューズメント、工業製品の設計・製造、医療や教育など、様々な分野で、バーチャルリアリティが利用されるようになった。最近では、高速なネットワークの普及により、インターネットを通じて世界中のユーザと3次元仮想空間を共有することが可能となっている。そのなかで、インターネット上で複数ユーザにより、協力して作業をすすめる CSCW (Computer-Supported Cooperative Work) に関する技術が注目されている。提供者側が構築したコンテンツをユーザが個人で利用するだけでなく、遠隔地の複数ユーザによって、協調作業を円滑に行うことが CSCW の目的である。

本研究では、CSCW 環境を実現するためのマルチユーザシステムを構築し、その応用例として、仮想考古遺跡への適用を試みる。仮想空間の共有は、ネットワークを介して互いの存在位置と視線方向を送受信し、他のユーザをアバターとして表示することにより実現する。また、ユーザ間のコミュニケーションはチャット機能により実現する。仮想空間の共有によるウォークスルーとコミュニケーション機能は、特にインターネットを介した遠隔教育で効果的に活用できるものと考えられる。

Summary:

Today, virtual reality (VR) technology has spread into various fields. Recently, it is possible to share a virtual 3D virtual space with users in the world via the Internet with a favor of the spread of high-speed networks. The technology of CSCW (Computer-Supported Cooperative Work) which works by cooperating in several users via the Internet is watched with keen interest. It is the purpose of CSCW a user not only to use the given contents individually, but to do cooperative work smoothly by several users who are in a remote place.

This paper presents a multi-user system for realizing the CSCW environment and its application to a virtual ancient ruins walk-through system. Sharing of virtual space is realized by transmitting and receiving the position and the direction of a look of each other through a network, and displaying other users as avatar. Moreover, a chat function realizes communication between users. It is thought that walk-through and the communication function by share of virtual space are effectively applicable in the remote education via the Internet.

キーワード:

仮想空間, CSCW, CVE, ウォークスルー, データベース, 考古遺跡

Keywords:

virtual space, CSCW, CVE, walk-through, database, ancient ruins

1 はじめに

近年、コンピュータの高性能化により、アミューズメントや工業製品の設計・製造、医療や教育など、様々な分野で、バーチャルリアリティ（VR）が利用されるようになってきた。なかでも最近では、高速なネットワークの普及にともない、コンピュータを用いた協調作業支援に関する分野（CSCW）へのVR技術の応用研究が注目されている。CSCWは、複数人での共同作業にコンピュータを利用することで、作業を迅速、正確、効率的に進めるための概念や手法である。

CSCW環境を利用して共同作業を行うことで、時間と距離の差を埋めることができ、作業をより効率的に進めることが可能となる。また教育の場では、インターネットを通して情報や自分たちの意見を発表することや、それに対する仲間や専門家からのフィードバックや評価を受けることができ、知識や思考能力を深めることができる。

本研究では、インターネット上でCSCW環境を実現するためのマルチユーザシステムを構築し、その応用例として仮想考古遺跡ウォークスルーへの適用を試みる。本システムにより、ユーザが同じシーンを見ながら議論したり、片方のユーザが教師役として説明するといったことがインターネットを介して行えるようになる。

2 仮想空間の共有によるCSCW

2.1 関連研究

遠隔地間で共同作業を行うときに、映像と音声だけの通常のテレビ会議システムを用いた場合、身体や視線の向きなどの情報が正しく伝わらないため、多数数での会議になると会話や順番取りを円滑に行うことが困難となる。また、テキストのみのチャットでは、誰が誰に話し掛けているのか分からなくなるといった欠点がある。

このような問題は、複数ユーザによる共有が可能な3次元仮想空間（CVE：Cooperative Virtual Environment）を利用することで解消される。CVEでは、アクセスしているユーザがアバターとして視覚的に表示されるため、誰が誰に話し掛けているかはそれぞれのアバターの位置や視線方向などから判断することが可能である。

CVEでは、テキスト、あるいは音声によるチャットのようなコミュニケーション機能が必要となる。また、ユーザ間で協調作業を行う際、仮想空間内の特定のオブジェクトをインタラクティブに操作できることが望ましい。

CVEに関する応用研究は、様々な分野において行われている。たとえば、自然環境教育の支援を目的としたCVEの研究がある[1]。これは、自然環境の体験学習の現場をそのまま再現した共有仮想空間に、ノートPCを持って実際に体験学習を行うユーザと遠隔地にいるユーザがネットワークを介して参加するというものである。

また、外国語教育への応用として、ネットワーク上に仮想大学“Virtual University”を構築し、その雰囲気や臨場感を体験しつつテキストチャットまたはボイスチャットを用いて外国語を学習するシステムの研究[2]や、マルチメディアデータとしてデジタルアーカイブしている博物資料をマルチユーザ仮想環境で提供する、仮想博物館システムの研究も行われている[3]。

さらに、都市の3次元モデルを利用して特定都市をネットワーク上に再現し、その中で様々なサービスを展開するデジタルシティの構築が世界各地で進められている。デジタルシティは、日常生活に役立つ新たな都市の社会情報基盤の構築を目指しており、国内では、「デジタルシティ京都」の試みがある[4]。

2.2 CVEの構成手法

CVEの一般的なアプリケーションでは、3次元仮想空間において、各ユーザがアバターやオブジェクトを移動・操作し、それらの位置や状態に関する更新情報をネットワークを介して他のユーザに通知しあうことで、ユーザ間でのインタラクションを可能としている。

アバターやオブジェクトの更新情報を他のユーザと共有する手法は、大きく分けて2種類存在する。ユーザ間で直接データをやり取りするピアツーピア方式と、ネットワーク上にサーバを設置し、サーバ経由でデータをやり取りするクライアント・サーバ方式である。

ピアツーピア方式は、ユーザの計算機間で直接やり取りするため、データの遅延時間が小さくなるという利点があるが、仮想空間に参加するユーザ数が増加すると送受信するデータ量が指数関数的に増えるため、計算機の負荷が急激に増加するといった問題がある。一方、クライアント・サーバ方式は、仮想空間の状態をサーバが一元管理し、必要なデータをサーバが判断してクライアントに送信するので、クライアント側での処理が少なくすむという利点がある。しかし、サーバが何らかの障害を起こしてしまうとシステム全体が機能しなくなる、ユーザ数の増加によりサーバの処理量が急激に増加し、サーバが過負荷になるとアプリケーションを円滑に実行できなくなるといった問題がある。

2.3 3次元空間の表現手法

インターネット上における3次元仮想空間の表現手法として、代表的なものに、QTVR、VRML、3DMLがある。

QTVRは、Apple社が開発したVR技術で、数枚の写真を用いて作成された360°パノラマムービーを利用して、仮想空間を表現する。QTVRで仮想空間を作るには、Apple社の製作ツールが必要であり、表示には、Webブラウザへのプラグインソフトが必要となる。

VRMLは、インターネット上で3次元空間を記述するための標準言語である。ユーザは表示された仮想空間内を自由に動き回ることができる。VRMLでは、空間内の特定のオブジェクトに対してアニメーションを設定したり、マウスクリックに反応するように設定することで、インタラクティブな仮想空間を構築することが可能となっている。

また、VRMLでは、オブジェクトにURLを埋め込み、webページとそのオブジェクトの間でリンクを張る機能も備えている。この機能を使えば、例えば、特定のオブジェクトをクリックすると、リンクされたwebページにジャンプし、そのオブジェクトに関する情報を表示するといったことも可能である。VRMLはテキストベースの言語であるため、特殊なツールを使わず標準的なテキストエディタで作成できる。VRMLによる仮想空間の表示のためには、クライアントのWebブラウザへのプラグインのインストールだけで十分である。

3DMLは、HTMLのようにタグを使って3次元空間を記述する。VRMLより容易に仮想空間を構築できるが、目上にはオブジェクトを配置できないため、一般の地形を表現するには適さない。標準的なテキストエディタで作成でき、表示にはプラグインソフトが必要となる。「デジタルシティ京都」[4]は3DMLにより構築されている。

3 マルチユーザシステムの構築

3.1 システム構成

本研究で実装したCSCW環境を実現するためのマルチユーザシステムの全体構成を図1に示す。システムはクライアントサーバ方式で実現しており、マルチユーザサーバと各ユーザが利用するクライアントとで構成される。サーバはJavaアプリケーション、クライアントはJavaアプレットとして実装しており、仮想空間はVRMLで作成している。各クライアントおよびサーバは、インターネット上にあればどこからでも相互に利用できる。

各ユーザのクライアント画面の仮想空間の視野内には、他のユーザを表すアバターが表示されている。いま、たとえば、ユーザAがそのブラウザ画面の上でウォークスルーを行うと、その位置と視線方向の情報が、マルチユーザサーバに送出される。サーバはそのとき接続しているすべてのクライアントにその情報を送信し、各クライアントはその値を用いて、仮想空間内のユーザAに相当するアバターの位置と視線方向を更新してブラウザ画面上に表示する。

なお、本システムでは、通信負荷を抑えて快適なウォークスルーを可能にするため、仮想空間を同時に共有できるユーザ数を最大5人に制限している。また、動作確認には、WebブラウザにMicrosoft社のInternet Explorer 6.0を、VRMLプラグインにParallelGraphics社のCortonaVRMLClient 4.0を使用している。

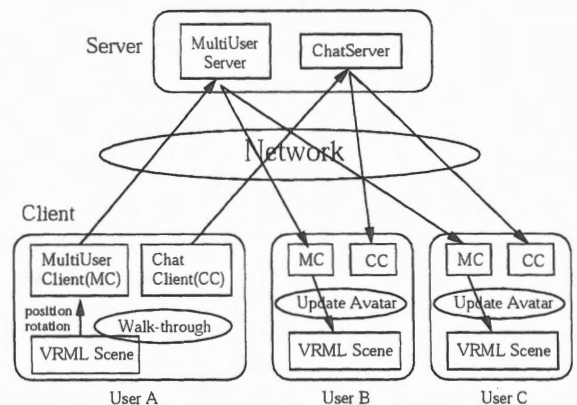


図1: システム構成

3.2 JavaEAIによるJavaとVRMLの連携

VRMLは単独で用いた場合、シーンの状態を調べ、それに基づいて判断を下し、実際にシーンの状態に変更を加える、といったイベント駆動型の動作記述をすることができない。そのため、インタラクティブ性をもつ3次元空間を構築するには、他の言語との連携が不可欠となる。

本研究では、VRMLと連携させるプログラミング言語としてJavaを用いており、その連携方法としてJavaEAIの機能を利用している。JavaEAIは、ブラウザを通じてVRMLとJavaアプレット間でデータの受け渡しを行うためのインターフェースである。JavaEAIを用いることでVRMLの記述がサンプルになり、ユーザインターフェースをすっきりした形で構成することができる。

本システムでは、ユーザの移動時、およびアバターの更新時における Java と VRML 間のデータの受け渡しに、JavaEAI を使用している。仮想空間内にあるユーザがウォークスルーを行うと、VRML の ProximitySensor ノードにより、ユーザの位置・回転情報が検出され、それらの情報は、JavaEAI を用いてそのユーザのクライアントのアプレットに渡され、さらに、サーバに送信される。また、サーバから他ユーザの位置・回転情報が届くと、クライアントのアプレットは JavaEAI を用いて、VRML ファイル中で定義されているアバターの position フィールドと rotation フィールドにそれらの値をセットし、そのユーザを表すアバターの更新が行われる。

3.3 システムの機能

本システムでは、以下に示すような機能を実装している。

● チャット機能

ユーザ間のコミュニケーションには、チャット機能を用いる。チャットシステムもマルチユーザシステム同様、クライアント・サーバ方式により実装を行っている(図1)。

チャットクライアントの GUI を図 2(a) に示す。チャットサーバが稼動している状態で、Name フィールドに名前を入力し、Login ボタンを押すと、接続要求がサーバに送られ、サーバとの接続が確立される。接続後は、Message フィールドにメッセージを書き込み、Send ボタンを押すと、そのメッセージがサーバを介して接続しているクライアントに送信され、チャットクライアントの発言欄に出力される。

このようにして、仮想空間内を独立にウォークスルーしながら、空間内にいる他のユーザとの間で、文字による会話が可能になる。

● アバター

仮想空間における各ユーザを 3 次元 CG モデルでアバターとして表示する。これにより、各ユーザは他のユーザが存在する位置とその視線方向を識別することができる。ここでは、システムへの負荷を抑えるために、アバターは簡単なプリミティブを組み合わせただけの簡易なモデルとしている。また、モデルの形状は同一であるが、胴体の色によりユーザの識別が可能となっている。

● ユーザ位置表示機能

仮想空間内に存在している全てのユーザの位置を、平面図上に表示する。図 2(b) では、自分を表す黄色の矢印のマークと他のユーザを示す白い矢印のマー

クが表示されている。これにより、空間内のユーザの数、各ユーザの存在位置、およびその視線方向を把握することができる。

● 視点共有機能

自分の視点だけでなく、他ユーザの視点でウォークスルーを体験できる機能を実装している。空間内に複数のユーザがいる状態で Mode ボタン(図 2(c))を押すと、他ユーザの視点に切り替わる。視点は、Mode ボタンを押す度に順に他のユーザの視点に切り替わり、同じ空間内にいる全てのユーザの視点に切り替わった後、自分の視点に戻る。この機能は、例えば、今自分が見ているオブジェクトを他のユーザに見てもらいたいといった場面で有効である。

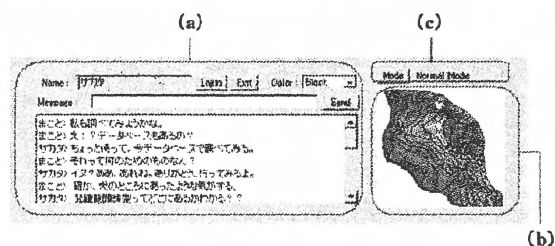


図 2: マルチユーザ化のためのインタフェース機能

● オブジェクトの操作

複数のユーザが協調して作業を行う CSCW 環境では、仮想空間内における特定のオブジェクトに対して、たとえば移動させたり削除したりするような操作を、インタラクティブに行えることが望ましい。本システムと同様の構成で構築した仮想遺跡発掘システムでこの機能を実装しているが、独自の機能として実装しており、本論文で述べるシステムにはまだ組み込んでいない。

4 仮想考古遺跡

4.1 考古学分野におけるコンピュータ利用

4.1.1 考古遺跡の復元

CG 技術の普及により、さまざまな場面で CG が広く利用されるようになった。考古学分野においても、現在では見ることでできなくなった古代の住居、古墳、あるいはその他の建造物などを含む古代景観を、CG 技術を用いて 3 次元的に映像化する試みが行われている。

一般に、3 次元 CG を利用して古代景観の復元を行う場合、発掘調査報告書をもとに遺構や遺物などのオブジェクトのモデリングと、航空測量などに

よって計測された地形データからの地形のモデリングを行わなければならない。さらに、自然な情景として表現するために、空や雲、人物、草や樹木などもモデリングし、配置することが望ましい。

このように、古代景観を復元するためのモデリング作業には、多くの時間と労力、およびコンピュータやCGに対する専門的な知識や経験が必要となってくる。このような、モデリング作業が容易に行える環境を用意することが望まれている。

4.1.2 遺跡データベース

考古学における最大の課題のひとつに、発掘調査によって得られる膨大な出土情報の管理がある。たとえば、1995年の1年間の日本全国での発掘調査件数は約7600件、発掘届出件数は36000件にもものぼる[5]。ひとつの遺跡の発掘調査が終了した時には、遺跡名や所在地名などのテキスト情報、遺物の大きさなどの数値情報、遺跡・遺構・遺物に関する実測図や写真といったイメージ情報など、その内容・形態とも多様な情報が大量に得られることになる。

このような状況で、データの大量性に起因するさまざまな問題が生じる。すなわち、出土情報の総量が人間の管理能力を越え、「どこで」「何が」出土したのか誰も正確に把握できない状態に陥っているといわれており、こうした大量データの効率的な管理・活用・流通を実現するため、考古学情報のデータベース化が課題となっている[5]。

4.2 考古遺跡ウォークスルーシステム

本研究室では既に、現在の立命館大学びわこ・くさつキャンパス所在地で発掘された「木瓜原遺跡」を例にとり、古代景観の復元を行っている。古代景観のモデリングには、市販のモデリングソフト、および本研究室で開発した古代景観モデリングツールを使用している。具体的には、まず、発掘調査報告書から得られる古代景観の構成要素となる遺物や遺構、建造物などの「オブジェクト」と、測量結果によって得られた地形データから古代景観の「地形」を、それぞれVRMLによりあらかじめモデリングしておく。そして、別々にモデリングしたオブジェクトと地形を、本研究室で開発した古代景観モデリングツールを用いて地形上にオブジェクトの配置を行い、合成データファイルをVRML形式で出力する、という方法でモデリングを行っている。作成された合成データファイルを、CortonaやCosmoPlayerなどのVRMLプラグインを利用してWebブラウザ上に表示し、この仮想空間内をウォークスルーすることができる。

また、発掘調査報告書に基づいて遺跡データベ

スを構築し、Webブラウザ上での検索を可能としている。さらに、古代景観に配置されたオブジェクトと遺跡データベースの検索結果を相互リンクすることで、古代景観から遺跡データベースの検索結果へ、また検索結果画面から古代景観へと双方向の移動を可能としている。

4.3 古代景観のモデリング

4.3.1 オブジェクトのモデリング

遺構、遺物、家などの建造物、および樹木などの自然物のモデリングにはCyberWalker (TIS社製)を用いている。CyberWalkerによるモデリングの様子を図3に示す。オブジェクトはVRML形式で出力し、保存できる。モデリングを行う際には、木目模様や壁柄など、それぞれのオブジェクトに適したテクスチャをマッピングする。また、モデリングしたオブジェクトには、Webブラウザ上でウォークスルーを行う時に遺跡データベースを参照できるように、検索結果画面へのリンク先のURL情報を付加している。

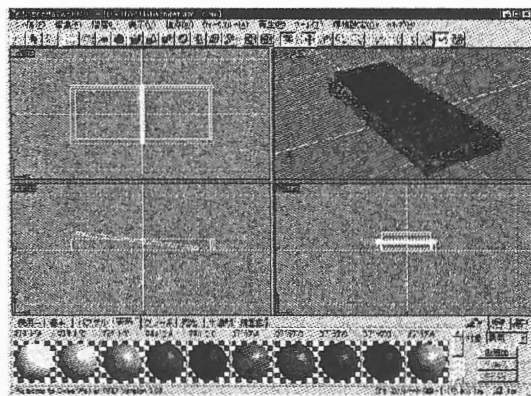


図3: オブジェクトのモデリング

4.3.2 地形のモデリング

遺跡の地形形状は測量によって得られる。地形データには、この測量結果をデータ化した等高線地図データや、格子点ごとに標高値を持つ格子状標高データの形式などがある。

本研究で対象とした木瓜原遺跡の地形データは航空測量によって得られたものであり、各格子点の水平面座標(x,y)と、その地点の高度(z)を列挙した書式になっている。この地形データから、本研究室で開発した地形データ変換プログラムを用いて、古代景観のモデリングを行う。地形のモデリングは、VRMLのIndexedFaceSetノードを用いて三角形パッチで行っている。

4.3.3 古代景観モデリングツール

別々にモデリングしたオブジェクトと地形を、本研究室で開発した古代景観モデリングツールを用いて合成する。

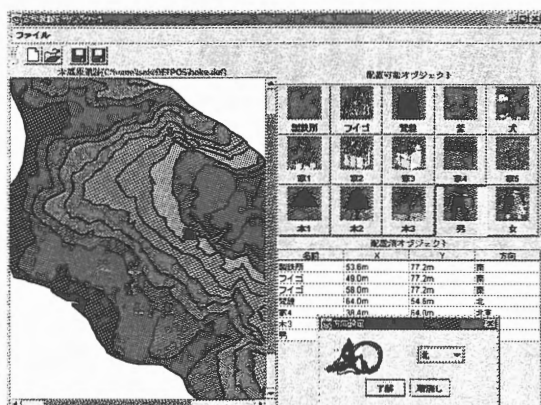


図 4: 古代景観モデリングツールの GUI

モデリングツールの GUI 画面を図4に示す。GUI画面の左半分には、遺跡の地形図が表示される。画面右上に表示されている配置可能オブジェクトの一覧からオブジェクトを選択した後、地形図上の任意の場所をクリックすることで、その位置にオブジェクトを配置する。ユーザはこれらのオブジェクトを、GUIで表示された地形図上に、発掘調査の結果をもとにして配置していく。オブジェクトは、その位置における地形データの高度を検出し、地形上に違和感なく合成される。

地形図上には、配置されたオブジェクトのアイコンが表示される。いったん配置されたオブジェクトもアイコンをドラッグすることにより、配置位置を移動することができる。また、配置済のオブジェクトの配置方向を変更することやオブジェクトを削除することも可能である。このようにして作成した合成データは、ふたたび VRML 形式で出力される。

4.4 遺跡データベース

発掘調査報告書にもとづくテキスト情報や画像情報を管理するための遺跡マルチメディアデータベースを PostgreSQL を用いて構築している。ここでは、木瓜原遺跡の場合を例にとり、発掘調査報告書をもとにして、発掘場所、遺構、遺物、位置の4つのテーブルを用いて、データベースを構築している。

● 発掘場所

発掘場所に関する情報を管理する。各発掘場所に位置番号を割り当てる。

● 遺構

遺構に関する情報を管理する。遺構の情報には、遺構の名称、位置番号、モデリングした VRML ファイル名、発掘画像ファイル名、画像のタイトル、遺構の説明がある。

● 遺物

遺物に関する情報を管理する。遺物の情報には、遺物の名称、位置番号、モデリングした VRML ファイル名、発掘画像ファイル名、画像のタイトル、遺物の説明がある。

● 位置

位置に関する情報を管理する。位置番号がどの地区に属するのかを表す。

● 画像データ

遺構や遺物の発掘写真をデジタルデータとして保存したもの。遺構、遺物テーブル内で指定される。

4.5 古代景観と遺跡データベースの連携

遺跡データベースはスクリプト言語 PHP を利用して、Web ブラウザからアクセスする。Web ブラウザでの検索処理と古代景観との連携を図5に示す。

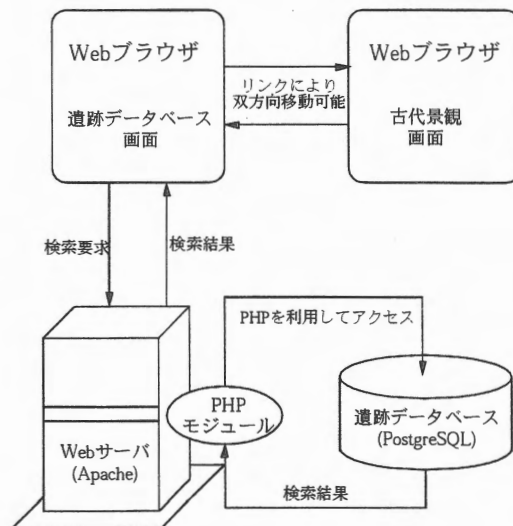


図 5: 検索処理と古代景観との連携

Web ブラウザの検索インタフェース画面から検索要求があった場合、Web サーバは PHP モジュールを利用して遺跡データベースに問い合わせを行い、検索結果を Web ブラウザに返す。また、その検索結果画面中に古代遺跡へのリンクがある場合は、これを使って古代景観への移動ができる。逆に、古代景

観中の遺構や遺物をクリックすることで、検索結果画面へ移動することもできる。このように、古代景観中のオブジェクトと遺跡データベースの検索結果画面を相互リンクすることで、古代景観と遺跡データベースへの双方向の移動が可能である。

4.6 ウォークスルーによる遺跡データベースの検索

VRMLプラグインソフトを利用してVRMLによる仮想遺跡データをWebブラウザ上に読み込んで表示し、これによって、ユーザはブラウザ上に表示された仮想空間内を自由にウォークスルーすることができる。

ウォークスルー時に表示される画面の例を図6に示す。画面は3つのフレームに分割されており、左半分のフレームが仮想景観の表示画面である。同図右上のフレームはデータベース検索用のフレームであって、ここに遺構名やキーワードなどの検索条件を入力し、遺跡データベースを検索することができる。検索の結果はこのフレーム内に表示される。さらに検索結果のデータ中に画像データへのリンクがあって、これをクリックした場合には、対応する画像が図6の右下のフレーム内に表示される。検索は、ウォークスルー画面の表示とは無関係に独立に行うことができる。

すでに述べたように、VRMLでの仮想遺跡のモデリング時に、仮想遺跡内のそれぞれのオブジェクトに対して、VRMLのAnchorノードを用いて遺跡データベースの対応するデータへのリンクを設定しておくことができる。これにより、図6左のフレームで仮想空間内をウォークスルーしているときにオブジェクトをマウスでクリックすると、そのオブジェクトに関する詳細情報をデータベースより検索して表示することができる(図7)。



図6: ウォークスルーと検索の画面

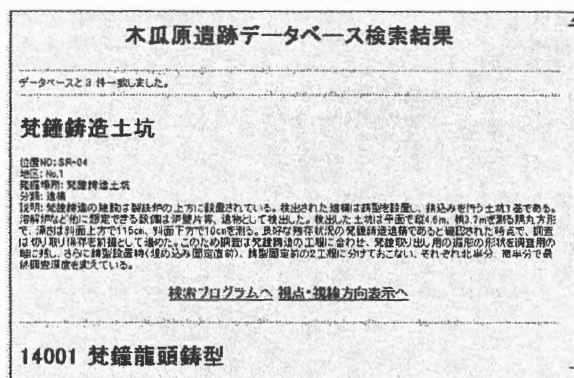


図7: 検索結果画面

5 仮想空間の共有によるウォークスルー

本研究で構築したシステムを用いて、複数のユーザが仮想考古遺跡内でウォークスルーを行っている様子を図8、図9に示す。各ユーザは、チャット機能を用いて、互いにコミュニケーションをとりながらウォークスルーを行っている。

図8は、ユーザAのウォークスルーの様子で、画面には、ユーザBとその他のユーザを表すアバターが表示されている。図9は、ユーザBのウォークスルーの様子である。ウォークスルー画面には、ユーザAを表すアバターが表示されており、また、別ウィンドウで遺跡データベースを参照している。

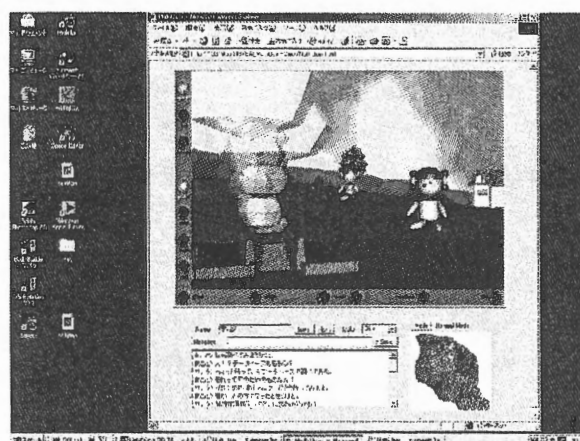


図8: マルチユーザシステムの実行例(ユーザA)



図 9: マルチユーザシステムの実行例 (ユーザ B)

6 考察と課題

仮想空間の共有とチャット機能により、他のユーザと意見交換しながらウォークスルーを行うことが可能となった。

本来ならば、ユーザの位置と視線方向の移動情報を即座に他のユーザに送信し、アバターの位置を更新するのが望ましいが、通信負荷の増大を防ぐため、クライアント・サーバ間の通信は、アバターの移動に大きな遅延が生じない程度の一定間隔 (500ms) で行うようにしている。

同時に仮想空間を共有できるユーザの最大人数を 5 人にしているが、この数はマシンの性能およびクライアント・サーバ間の通信間隔により影響されるため、実際には使用するマシン・通信間隔で実験を行った上で適切なユーザ制限数を決める必要がある。

CSCW 環境では、誰が協調作業に参加しているのかという情報が重要であるが、現システムでは、ユーザの情報を表示する機能は備えていない。ユーザ名がリスト表示されるような機能を実装するなど、より完成度の高いシステムを目指したいと思う。

7 おわりに

本研究では、CSCW 環境を実現するためのマルチユーザシステムを構築し、仮想考古遺跡への適用を試みた。本システムにより、ユーザが同じシーンを見ながら議論したり、片方のユーザが教師役として説明するといったことが可能となった。複数ユーザでの仮想空間の共有によるウォークスルーとコミュニケーション機能、さらにデータベースの参照機能は、特にインターネットを介した遠隔教育で効果的に活用できるものと考えられる。

今後は本システムの問題点を改善するとともに、多くの人にシステムを使用してもらい、ウォークスルー速度や操作性といったシステムの評価を行いたいと考えている。

謝辞 木瓜原遺跡の発掘調査データを利用させて頂いた、(財) 滋賀県文化財保護協会の横田洋三氏ならびに本研究プロジェクトに参画された立命館大学八村研卒業生諸氏に心より感謝します。

参考文献

- [1] 岡田 昌也, 吉村 哲彦, 守屋 和幸, 酒井 徹朗:「三次元仮想自然空間の共有による環境教育支援システムの構築」, 情報処理学会第 61 回全国大会, pp.385-386, 2000
- [2] 日比野 修, 岡田 稔:「VRML による外国語学習システムの作成とその可能性」, 情報処理学会第 62 回全国大会特別トラック講演論文集, 2001
- [3] 由良 俊介, 鶴坂 智則, 坂村 健:「デジタルミュージアムマルチメディア MUD のためのブラウザの設計と実装」, 情報処理学会論文誌, pp.661-669, 1999
- [4] 平松 薫, 小林 堅治, Ben Benjamin, 石田 亨, 赤埴 淳一:「デジタルシティにおける情報検索のための地図インターフェース」, 情報処理学会論文誌, pp.3314-3322, 2000
- [5] 及川 昭文:「考古学データベース」, 情報処理, 38 巻 5 号, pp.388-391, (1997,5)
- [6] 小沢 一雅:「コンピュータ・グラフィックスによる古代景観の映像的復元」, 人文学と情報処理, pp.61-68, (1997,8)
- [7] 山北 俊典, 八村 広三郎:「古代景観モデリングツールの開発と、ウォークスルーによる遺跡データベースの検索」, 情報処理学会第 62 回全国大会論文集, pp.137-138, 2001
- [8] 坂田 義則, 八村 広三郎:「仮想空間の共有による古代遺跡のウォークスルー」, 電子情報通信学会総合大会論文集, p.361, 2001
- [9] 坂田 義則, 八村 広三郎:「仮想古代遺跡景観モデルと遺跡データベースによるマルチユーザウォークスルー」, 人文科学とコンピュータシンポジウム論文集, pp.189-196, 2001