

応用論文

スケーラブルVRシステムを用いた教育用コンテンツの試作
-マヤ文明コパン遺跡における歴史学習-安藤 真^{*1}, 吉田 和弘^{*2}, 谷川 智洋^{*1}, 王 燕康^{*1},
山下 淳^{*3}, 葛岡 英明^{*4}, 廣瀬 通孝^{*3}Proto-type Educational Contents by using Scalable VR System
-Historical Learning in Copan Ruins of Mayan Civilization-Makoto Ando^{*1}, Kazuhiro Yoshida^{*2}, Tomohiro Tanikawa^{*1}, Yankang Wang^{*1},
Jun Yamashita^{*3}, Hideaki Kuzuoka^{*4} and Michitaka Hirose^{*3}

Abstract - Recently, virtual reality technology has been used in numerous practical applications. In this paper, we developed and evaluated a proto-type system of educational VR system by using networked VR technology. To build proto-type systems, we constructed high quality historical VR contents, Copan ruins of Mayan civilization, and integrate two different types of VR systems, theater-type and home-type VR systems. By using VR Theater, a teacher can give lecture on Mayan civilization to his students as if they are in the real Copan ruins. Also, we divide students into four groups and inspect the effect of mutual observation to group study. In proto-type system, each group walk through Copan ruins by using home-type VR systems set up in front of the VR theater, and solve historical questions about Mayan civilization. Throughout the experiments, almost all students are interested in Mayan civilization and communicate each other in both real and VR environments.

Keywords : networked VR, education, historical learning, group instruction, digital archive

1 はじめに

VR 環境による体験学習は、平等な教育機会の提供、生涯学習への応用、そして学習項目の充実という点から期待が極めて大きい。また、体験学習の枠組としてのグループ学習が注目されているが、VR 環境とネットワーク技術とを併用することにより、三次元 VR 空間内での相互交流による社会参加の実現、学習者間での協調作業による学習効果の向上といった、実世界での学習と同様の目的が達成されるものと期待できる。

理想的な学習環境を実現するためには、高精細・広視野の映像提示装置に加え、広帯域ネットワークを備えた環境が必要となるが、全ての学習拠点、たとえば小学校全てにこのような VR 環境を備えることは現実的ではない。

また学習に用いる VR コンテンツは、特定の VR 環境を想定して製作されているのが現状であり、性能

や形態が異なる VR 環境、即ち異種 VR 環境で共通に利用可能なプラットフォームの構成技術はまだ確立されていない。

このような問題を解決するため、筆者らのグループでは異種 VR 環境が相互接続された学習環境であるスケーラブル VR システムを構築している。

本論文では、スケーラブル VR の概念と構成技術を概説したあと、異種 VR 環境が相互接続された学習環境を構築するための要件を、グループ学習における相互観察という視点から整理する。次に、これらの要件に基づいて設計されたシステムの解説を行う。そして、実際にグループ学習を行い、それを評価することで筆者らが提案した要件を満たしていることを考察し、システムの利点と問題点を明かにする。

2 スケーラブル VR

従来の VR を用いた教育用コンテンツの研究は、技術項目を中心にアプリケーションの作成を行なう技術主導型の研究であった。一方、本研究はコンテンツをあらかじめ決定し、そのコンテンツを利用する教育現場からの様々な要求に応じた技術開発を行なうコンテンツ主導型の研究である。この研究では、ネットワークを介して接続された様々な VR 環境が、同一のコ

*1通信・放送機構 MVL リサーチセンター

*2株式会社エクサ

*3東京大学先端科学技術研究センター

*4筑波大学機能工学系

*1Telecommunications Advancement Organization of Japan

*2EXA Corporation

*3Research Center for Advanced Science and Technology, the Univ. of Tokyo

*4Institute of Engineering Mechanics and Systems, Univ. of Tsukuba

コンテンツを共有できる技術確立することを目指している。この技術が確立することによって、テレビのような従来型メディアの利用だけでは見られなかった双方向性、社会参加性、実体験に伴う臨場感や感動といった、教育において重要な要素を提供することが可能な、スケーラビリティの高い VR 環境を構築することができる。

2.1 スケーラブル VR アーキテクチャ

スケーラブル VR とは、CABIN[1] や VR シアター[2] のような大画面スクリーンを用いた VR システム(図 1(a)) だけでなく、今後家庭での利用が見込まれるプラズマディスプレイ (PDP) を用いた VR 環境(図 1(b)), さらに PDA や携帯電話のような端末(図 1(c)) までを含んだ、異種 VR 環境を相互に接続することを可能とするシステムである [3]。

このような異種 VR 環境を相互接続し、同一の VR コンテンツを提供することを考慮した場合、各環境に応じた表示解像度や通信帯域に応じた同期手法など、単にデバイスの性能や方式の差異を吸収するだけではなく、例えば利用目的に応じて抽象度の異なる内容を表示したり、あるいはユーザインタフェースそのものを置き換えるなど、それぞれの VR 環境と利用目的に適した機能を提供することが重要である。異種 VR 環境において、環境間の拡張をスケーラブル、かつ動的に行うためには、図 2 に示すように、VR 環境をいくつかの構成要素に分解し、それぞれが共通のインタフェースをもつモジュールとして扱うことが適切である。

本研究では、最終的に以下に示す 4 機構によって全体アーキテクチャを設計している。

1. レンダリング機構: 共有シーングラフから、利用環境に応じた表示手法によって映像を出力する
2. 共有同期機構: ネットワーク性能に応じた最適な方式によって共有空間へのアクセスを実現する
3. ユーザインタフェース機構: 利用可能なデバイスや利用者の能力に応じ、最適なユーザインタフェースを提供する
4. アプリケーションマネージャ: 上記 3 機構を動的に管理し、イベント処理などを扱う

このように各々の機能を分離することで、アプリケーション上のシナリオに応じて、表示方式やユーザインタフェースなどを切り替えたり、併用したりすることを可能とした。

2.2 スケーラブル VR コンテンツ

本研究では、VR 技術によって忠実に再現したマヤ文明コパン遺跡を VR コンテンツとして用いた。コパン遺跡は、中米ホンジュラスの西端に位置する古代マヤ文明の代表的な遺跡の一つであり、かつて 5 世紀中

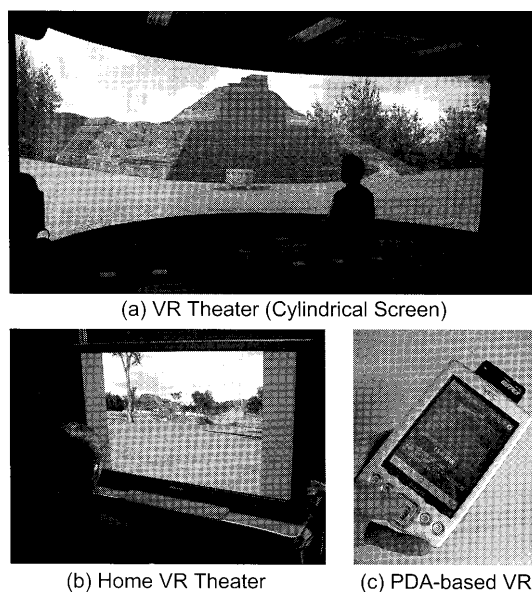


図 1 異種 VR 環境

Fig.1 Heterogeneous VR environments

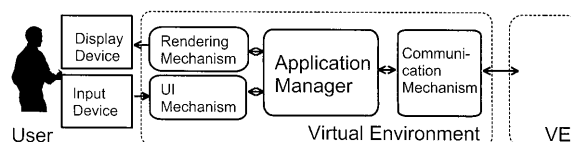


図 2 スケーラブル VR アーキテクチャ

Fig.2 Scalable VR architecture

頃から 8 世紀末頃までマヤ南東地域の中心的存在であった場所である。製作したコパン遺跡は、現在の遺跡の様子を実写画像を基に再現したシーンと、考古学的検証に基づいて復元した 1200 年前の遺跡のシーンの双方から構成されている。両シーンとも、現在遺跡として残されている約 600m × 400m 四方の地形全体、主要建造物、石碑などが再現されており、さらに遠景も再現することで、遺跡全体を上空から俯瞰した場合でも不自然にならないよう構成されている(図 3)。

遺跡の再現にあたっては、ホンジュラス人類学歴史学研究所監修のもと、実測図面から建造物等の三次元データ化を行い、6 × 7 フィルムによって撮影された約 4000 点の写真から高解像度スキャニングされたものをテクスチャデータとして用いた。遺跡の中に点在する石碑にはマヤ文明の象徴ともいえるマヤ文字が多数刻まれている。これらマヤ文字を解読するといった要求にも応えられるように、1024 × 1024 以上の解像度のテクスチャを用いることで、石碑の表面を至近距離から詳細に観察することを可能とした(図 4)。

一方、古代遺跡の復元にあたっては、コパン隆盛期の末期にあたる紀元後 802 年頃を想定した。建造物の色彩、および形状に関しては、これまでの研究で判明している内容を基に再現した。



図3 コパン遺跡全景
Fig.3 Copan ruins



図4 石の祭壇
Fig.4 Stone altar

3 関連研究

遠隔地とをネットワークで接続することでコミュニケーションを支援する試みは盛んに行われている。

実空間におけるコミュニケーションと同様のコミュニケーションを遠隔地との間でも実現するためには、テレビ会議のように単に対話者の顔が見られれば良いのではなく、共有対象物に対する適切な身体配置を支援することが重要である。

ClearBoard[4]では、対話者同士が共有対象(この場合は描画空間)を挟むような身体配置を実現している。これによって、単に対話者同士の視線一致を実現するだけでなく、作業者が共有対象のどこを見ているかを、視線を通じて認識できるようにしている。

SharedView[5]では、作業者と指示者の視野を完全に一致させる身体配置をとることが、遠隔作業指示において有効なことを示しており、Agora[6]では、遠隔地から参加する作業者の画像を、実際の机を囲むように配置することによって、身体化されたコミュニケーションが行えることを示した。

VR環境を中心とした遠隔コミュニケーションでは、共有VR空間に参加している人物の表現手法として

アバターが用いられることが多い。Interspace[7]では、VR空間に参加者をアバターとして登場させ、出会いの場として利用することで、仮想空間におけるコミュニティの生成過程を検証した。また、CABINのように没入感が高く、高精細な画像提示が可能なVR環境では、静止したCGモデルによるアバターではなく、ビデオアバターと呼ばれる実画像を用いた全身像アバターの提示が行われており、より実空間に近い高品位な共同作業空間を実現するための研究が行われている[8]。さらに、こうしたネットワーク型VRを実現するためのソフトウェアアーキテクチャに関する研究として、NPSNET[9]やMASSIVE[10]、CAVERN[11]などが知られている。しかしながら、これらの研究は同種のVR環境を接続することを前提にしており、異種VR環境の接続や、利用スタイルの多様性に対する検討はほとんど行われていない。

教育分野でも、教育や学習を計算機を用いて支援するシステムが研究開発され、実際の授業に使われている。また、単なる情報の共有だけではなく、CSCL(Computer Supported Colabolative Learning)と呼ばれる、コンピュータを用いて共同学習を支援するシステムの開発が行われている[12]。しかしながら、提供されるアプリケーションが、従来型映像メディアのように教師から生徒に対し一方的に情報を伝達するだけでは、社会参加性、実体験に伴う臨場感や感動といった、教育において重要な要素を充足することはできない。

他方、コミュニケーションの双方向性をVR技術によって支援することにより、他のメディアでは受動的になりがちで実現できなかった、体験者の能動性を導き出すことが容易となる。ネットワークによって相互接続されたVR環境を医療やリハビリテーションに応用したものとして、国立小児病院の「入れるテレビ」、「動物園にいこう」、「バーチャルサッカー」などの試みがある[13]。

学校教育において、こうした体験型・協調型の学習を可能にするためには、体験者が体験や調査、発見を行うことのできる正確なモデルを構築し、高精細かつ臨場感の高い仮想空間を提示する必要がある。すでに、都市環境のシミュレーションや文化遺産のアーカイブなど現実環境の保存のために高品質なVRコンテンツを生成する試みが行われているが[14]、本研究においても、本章までに述べたとおり、正確な三次元データと、高解像度のテクスチャを利用することを心掛けた。

4 システム設計

4.1 設計の要件

我々は、以上の考察からスケーラブルVRが教育分野に与える効果は大きいと考えた。しかし重要なことは、単に教育用のツールとしてシステムを設計するだ

けではなく、そのツールを教育の現場でどのように利用すべきかについても考察することである。

加藤らは、知識や技能を学習する過程において、コンテキストや活動、実践を組織化することが重要であるとしている。知識を獲得する過程は、複数のコンテキストを相互に関連させることで実現される [15]。たとえば、ニュートン力学において、運動の見え方は観察点に応じて様々である。物体が重力により落下する運動を観察していても、視点に応じて直線運動だったり、放物運動を示す。しかしながら、双方の観察を比較することにより、加速度が一緒であることを理解し重力の存在を導き出すことが可能になる。つまり、ひとつの事象に対して、複数の視点から観察できるように、システムが支援することが重要と言える。

また、教育現場における子供たちの活動は、VR 空間の中だけではないことに留意すべきである。たとえば、同期型の共同学習では、実際のノートを使ったり、端末を操作したりという、実世界での様々な動作がおこなわれる。こうした行動もグループ内およびグループ間において相互観察できることが重要となる。このような学習環境を実現するためには、実空間の相互観察と、VR 空間の相互観察の両方を支援する必要がある。

これらの考察に基づき、体験型・協調型の学習システムとして満たすべき要件を以下のようにまとめた。

● グループ内活動の支援

- － 個別の視点を支援するための個別端末の利用
- － 個々の端末における、独立した VR 空間ナビゲーションの実現
- － 円形の机を利用することによる、グループ内での子供たちの相互観察の支援

● グループ間活動の支援

- － VR 空間の全体像の観察を支援するための大画面スクリーンの利用
- － 全体像が全員に見られていることを意識できるような、生徒たちの配置
- － アバタを利用することによる、VR 空間内の相互観察の支援
- － VR 空間のみの相互観察だけではなく、同じ場所で授業をおこなうことにより、実空間での相互観察の実現

4.2 実験システム

今回の実験システムは、学校教育での利用を想定し、シアター型 VR 環境と複数のホーム型 VR 環境を一つの室内で混在させた混在型 VR 環境を構築した。こ

こで、シアター型 VR 環境とは、大型スクリーンを利用することによって、一度に多人数が VR 環境を体験することのできる環境であり、ホーム型 VR 環境とは、PC と小型のディスプレイのような、一般家庭で利用できる VR 環境を言うこととする。これによって、マヤのコパン遺跡を、高臨場感の表示システムによって観賞したり、ネットワークで接続された端末で、個別にゲーム感覚で探検しながら、マヤ文明について学習を行えるようにした。VR 環境のレイアウトとして、図 5 に示すように、参加者が独自に操作できる複数のホーム型 VR 環境を、全員が映像を共有できるシアター型 VR 環境の前に配置し、それぞれに異なる視点の映像を表示するようにした。これにより、参加者は遺跡の中を独立した視点で自由に動き回ったり、興味のある対象物をゆっくりと観察することができる。同時に、全員が映像を共有できる大型スクリーンによって、共通の解説を聞いたり、遺跡全体を客観的に表示し参加者の現在位置をアバタによって示すなどの方法で、グループ学習を支援することができる。

4.3 ギャラリートークの支援

ギャラリートークとは、対象となる作品などについて、専門家またはそれに準ずる者が、聴衆との対話を通して自らの言葉で解説を行う手法である。VR によるギャラリートークの試みとしては、VR 技術によって再現した文化遺産などを大型の映像表示システムによって多人数で共有し、専門家が解説を行うというものがある [2]。参加者は、高い没入感により、あたかもその場にいるかのような臨場感を体験しつつ、解説を聞くことができる。また参加者と解説者が言葉でコミュニケーションを行うことで、参加者の興味に応じたギャラリートークの動的な展開が可能となる。

また解説者は、参加者の反応を音声などで講師に伝えることにより、参加者の意思を反映した展開が可能になる。

本システムでも、専門家が操作デバイスを使いながら自由に仮想空間を移動することができるため、参加者の反応に応じて解説内容を変化させることが可能である。ネットワークによって接続されたホーム型 VR 環境では、ギャラリートークに自動追従した視点による映像表示と、個々の操作デバイスを利用した独自の視点操作も可能であるようにした。

4.4 グループ学習の支援

本システムでは、前述のギャラリートークのような講義型の利用方法だけではなく、グループ学習の支援も必要である。ギャラリートークの場合、解説者から参加者への情報の伝達に有効であると考えられるのに対し、協調型の学習では、参加者がグループに分かれ、互いに討議や問題解決を行うことにより、知識の定着や動機向上が促される。そこで、グループ内での積極的な討議を可能にするため、図 5 に示すように円形



図 5 実験レイアウト
Fig. 5 Layout for an experiment



図 6 アバタ
Fig. 6 An example of avatar

の机を利用した。

今回のパイロットシステムでは、参加者はホーム型 VR 環境によって自由にマヤ遺跡の中を動き回れるようにし、シアター型 VR 環境ではコバン遺跡の俯瞰映像と、アバタを表示することによって、参加者が自分の位置を客観的に把握できるようにした。また、アバタを導入することにより、VR 空間内での互いの位置関係を把握することが可能になった。

今回構築したシステムで用いたアバタの例を図 6 に示す。このアバタは、90 度毎に撮影された参加者の 4 枚の実写画像から、視点位置に応じて適切な画像を自動的に選択して表示するものである。

4.5 システム構成

今回構築したシステムを図 7 に示す。超高精細の映像表示が可能なシアター型 VR 環境として、半径 3500mm、視野角 150 度のシリンドリカル・カーブスクリーンと 3 台のプロジェクタおよび SGI 社製 Onyx3400 から構成される表示装置を用いた。また参加者が利用するホーム型 VR 環境として、グラフィックス・ハードウェアに nVIDIA 社の GeForce チップを搭載し、OS に Linux を採用した PC を 4 台用意した。いずれの環境も、平均 25fps のフレームレート

シアター型 VR 環境

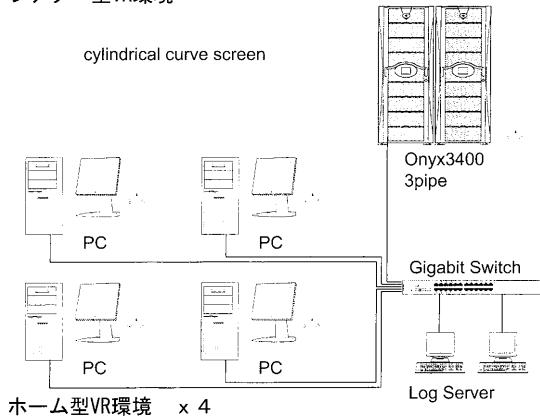


図 7 システム構成
Fig. 7 System configuration

で描画するように調整した。また、すべてのホーム型 VR 環境にはゲームパッドが接続されており、遺跡内の移動は主にゲームパッドを用いて行うことができるようにした。

シアター型 VR 環境および各ホーム型 VR 環境はギガビット・スイッチを介して接続されており、それぞれの視点情報を送り合うことで、他の参加者がアバタとして表示されるようにした。この視点情報の送受信にはマルチキャストを用いたが、参加者が移動して位置情報が更新されたときのみ送信することで、ネットワーク帯域を節約した。

さらに、VR 環境の他に、全参加者の VR 空間中での行動を記録するためのログサーバーを設置した。これはマルチキャストによって送受信される位置情報パケットをキャプチャし、各位置情報毎にタイムスタンプとその内容を記録するものである。記録されたログ情報は、特定の時間範囲や特定の参加者のみの再生を行ったり、再生速度の調整を行うことが可能である。また、ログの再生においては、データをマルチキャストすれば、再生を行うコンピュータ側では、あたかも実際の VR 環境からリアルタイムで視点情報パケットが届くように見えるため、記録時とは異なった視点から再生側の参加者の観察を行ったり、定点観測を行うことなどが可能である。この機能により、全ての参加者の行動の統計的な調査を行ったり、特定の参加者に着目してその行動を詳細に分析することなどが可能となった。

5 実験

今回構築したシステムの、共同学習に対する効果を調べるため、児童を対象とした課外授業を実施した。課外授業は、慶応義塾幼稚舎のコンピュータクラブに所属する小学 5, 6 年 11 名を東京大学先端科学技術研究センター内に設置された VR シアターに招き、ギャ



図8 ギャラリートーク
Fig.8 A scene of gallery talk

ラリートーク方式によるマヤ文明の解説と、チームに分かれて遺跡内でスタンプラリーを行うゲームを、約3時間にわたって行った。

なお、課外授業の実施に先立ち、今回のスタンプラリーで必要となるマヤ文字や暦についての基本的な仕組みを解説するため、幼稚園において事前学習を行った。

5.1 ギャラリートーク

大型スクリーンに映し出される没入感の高い映像によって、児童らはあたかもコパン遺跡の中を歩き回りながら、講師の話を聞くという体験をした(図8)。まずVRによる遺跡の再現手法について、コンピュータ・グラフィックスの簡単な説明を交えながら説明を行い、続いて中南米考古学の専門家である早稲田大学文学部の寺崎秀一郎氏の解説によるコパン遺跡のバーチャル・ツアーを行った。寺崎氏のギャラリートークでは、現代のコパン遺跡や古代の再現シーンを移動しながら、マヤ文明の背景、文化、風俗などについて解説を行った。また石碑にマヤ文字を刻む道具として使われた石器については、実物大のレプリカを実際に児童らに手に取らせることにより、映像だけでは伝えきれない質感や重量感などを伝える工夫を行った。

5.2 スタンプラリー

スタンプラリーとは、グループに分かれた児童らが、遺跡内に隠されたマヤに関する問題を探し当て、これに回答することで得点を競いあうゲームである。被験者は小学5年生8名、小学6年生3名の男児11名で、3名ずつ4つのチームに分け、各チームにホーム型VR環境を割り当てた(図9)。それぞれのチームには6年生が一人ずつ参加し、リーダーを務めた。ただし人数の都合上、1つのチームのみ幼稚園の教諭がリーダーとして参加した。各チームにはアシスタントの学生が付き添い、ゲームパッドの操作方法などについてのアドバイスをを行った。

問題が隠された場所を示すため、遺跡内には図10に示すような立て札を12箇所に設置した。各立て札

にはマヤ文字による問題番号を記載した。児童らはまず遺跡内を移動しながら立て札を見つけ、あらかじめ配布されたマヤ文字辞典を参照しながら立て札の問題番号を当てることとした。児童らが問題番号を探し当てると、アシスタントが画面に表示されている立て札を目視で確認し、正解であれば問題用紙を配布した。なお、児童にはあらかじめ立て札の位置を記した遺跡の見取り図を配布した。見取り図には、立て札のおおよその位置と、その配点を図式化して記載した。

スタンプラリーでは、児童らはグループ毎に自由に遺跡内を移動するが、その際に他のグループの姿をアバタによって確認することができた。一方、前面の大型スクリーンでは遺跡全体を上空から見下ろす表示を行い、児童らはそこに表示される自分たちのアバタによって、自分たちの現在位置を即座に把握できた。また、ゲーム中に問題に関する質問などがあった場合に、適宜スクリーンの映像を使い、ギャラリートークと同様の手法によって、全員が共有できるヒントを与えることも可能にした。

表1に、出題した問題を示す。問題1~6は、事前学習において配布した資料を参照することで回答可能な問題とし、低い配点とした。一方、問題7~12については、実際に遺跡の中の石碑に刻まれたマヤ文字を判読しなければ回答できない問題とし、高い配点とした。仮想空間とのインタラクションを要求する問題の一例として、問10で観察する石碑を図11に示す。この問題では、対象となる石碑を観察し、長期暦(マヤ文明で使われていた暦のひとつ)を表す一文を見つけ出す必要がある。長期暦の目印、長期暦に使われるマヤ文字、および長期暦から西暦への変換方法については事前学習で解説してあるため、目印を見つけることができれば、簡単な計算方法によって西暦を求めることができた。問題では該当する時代の王の名前を聞いているが、これは参考資料の年表を参照することにより、求めることができる。

各チームの得点結果を図12に示す。12問の問題に対して、スタンプラリーの時間が30分間と短かったため、全体的に低い得点率となった。

6 結果と考察

6.1 行動分析

実験後、スタンプラリーの様子を収録したビデオ画像と、位置情報パケットのログ分析を行い、本システムにおいて児童が仮想空間内においてどのように行動したかを調べた。その結果、各グループによって問題の発見と解決の方策に明確な違いがあった。図12に示す通り、難しい問題を1題解いたあと着実に点を取るチームや、比較的難しい問題を重点的に説くチームなどである。どのチームもグループ内で真剣に相談し、チーム間で積極的な競い合いが発生していた。

表 1 問題
Table 1 The questions set in the stamp rally

番号	問題内容	配点
問 1	マヤ人たちの主食はなんでしょう？	5
問 2	マヤ人たちは文字を何に記録した？2つ以上答えよう。	5
問 3	マヤの人々は金属の道具を持っていませんでした。彼らはいったいどうやって石に文字を刻んだでしょう。	5
問 4	人の体全体をえがいた文字もあります。その文字の名前は？	5
問 5	マヤ文字で記録された内容は、主にどんなこと？	5
問 6	マヤ文字による文はどのような順番で読むでしょう。下の左側の文の中の文字を読む順番を右側のます目に書き込みましょう。	5
問 7	キーボードの“2”を押してみよう。さあ、いま君が見ているのは神殿 16 の下に埋まっている神殿のひとつです。ここには王様の名前を表す図柄が描かれています。その王様とはいったい誰でしょう。	15
問 8	あなたの目の前の祭壇には、下の写真のような図柄が彫られていますね。赤い線で囲まれた人は、この祭壇を作った王様です。この人は誰でしょう。	10
問 9	あなたの目の前の祭壇には、下の写真のような図柄が彫られていますね。ここにはこの祭壇を作った王様が即位した日を書いてあります。即位したのはハープ暦でいつでしょう？	10
問 10	碑文の中から長期暦を探して、それが西暦何年ごろか計算して、答えよう。そして、そのときの王様が誰かも答えよう。	10
問 11	この石碑を作った王様の名前が目の前の碑文に書いてあるよ。どこに書いてある？上から何段目、左からいくつ目で答えよう。	10
問 12	下の文はコパンの近くにあるキリグアーという都市で見つかった。ここには、コパンのある王様に関するある出来事が書かれているよ。赤い線で囲った部分を解説して、一体、どの王様に何がおこったか、答えてみよう。	15

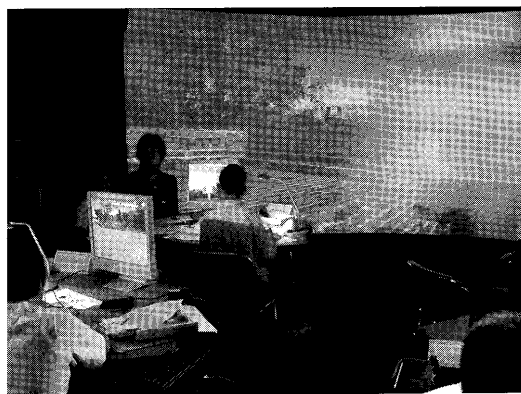


図 9 スタンプラリー
Fig.9 A scene of stamp rally

スタンプラリーでは、前面の大型スクリーンに遺跡全体を上空から見下ろす表示を行い、遺跡内で児童らの位置を示すツールとしてシアター型 VR 環境を用いた(図9)。しかしほとんどの児童は手元に配布したマップによって現在地を把握することができたため、



図 10 問題立て札
Fig.10 A sign

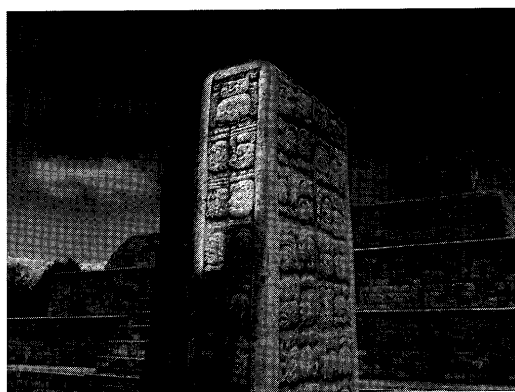


図 11 問題 10 で対象となる石柱 (ステラ A)
Fig.11 A stela in question no.10 (Stela A)

スクリーンに表示される自分たちのアバタの動きを常に確認しなくても遺跡内で迷うことなく立て札を見つ

選手名	送信テスト	設定	問題1	問題2	問題3	問題4	問題5	問題6	問題7	問題8	問題9	問題10	問題11	問題12	合計
グループ	問題1	問題2	問題3	問題4	問題5	問題6	問題7	問題8	問題9	問題10	問題11	問題12	問題13	問題14	
チャック	5	5	5	5	5									15	40
カン						5		10	10			10			35
サク		5				5	15	10							35
ヤシュ	5	5		5		5	15	10							45

図 12 得点結果

Fig. 12 Final scoreboard

けることができた。

一方で、チームの中で自分たちの現在地についてお互いの合意を取るために、スクリーンに表示された自分たちのアバタの動きを利用する場面が確認できた。これは、ゲームパッドを操作する児童が、マップ上で異なる位置に自分たちがいると主張する児童に対して、実際にスクリーン上で見えるように自分たちのアバタを動かし、確かにその場所に居ることを示したものである。このように、全員が共有できるシアター型 VR 環境を併用することは、単に客観的に現在地を表示する補助ツールとしてだけではなく、チームの中でのコミュニケーションや合意形成を促進する使い方としても有効であると考えられる。

他チームとの関係については、アバタを追跡するなど、他のチームとのインタラクションも認められた。図 13 は、全体の軌跡のうち、あるチームが問題の立て札を発見したのを知り、別のチームが追跡を行い、問題の前で干渉しあった軌跡を示す。図 14 は、あるチームが発見した立て札の問題番号を判読している途中、別のチームが同じ立て札を見つけたことを知り、そのチームの前に立ちふさがることによって問題番号を隠し、優位性を保とうとしている様子を示している。このように、アバタによって他のチームを意識することで、ゲームを優位に進めようとする戦略も観察できた。このことは、共有空間内でのグループ学習を支援するような教育アプリケーションにおいて、アバタをコミュニケーションツールとして用いたスケーラブル VR コンテンツの構成が有効であることを示している。

6.2 アンケート結果

更に、課外授業後、児童にアンケートを行った。アンケートの結果を図 15 に示す。ゲームパッドによる操作に対しては、11 名中 2 名が難しいと感じ、7 名が移動速度に不満を感じていた。今後入力インターフェースの改善が望まれる。一方、アバタについては約半数が役に立ったと回答した。前節で述べたような他のチームとの関わり合いを、被験者も意識して行っていたことがわかった。これらの結果から、本システムは、被験者にとって、仮想空間での他のチームの存在を意識したり、共有空間での臨場感を向上させるだけでなく、現実空間と仮想空間の間に連続性を持たせるための、一種のコミュニケーションツールとしての効果があっ

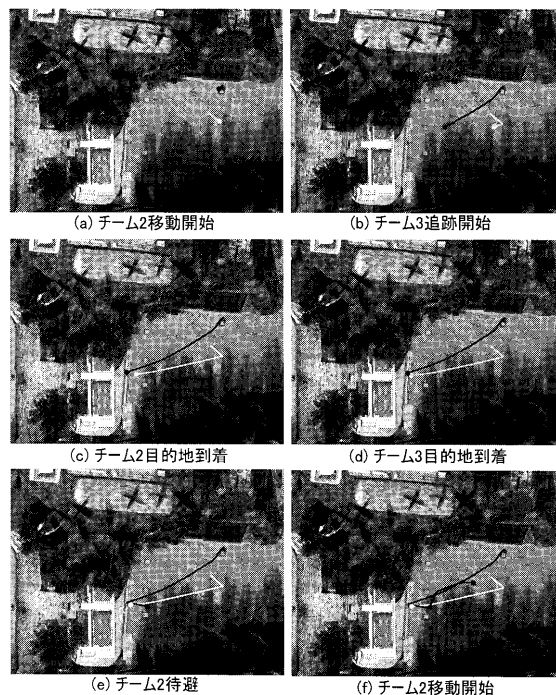


図 13 行動分析

Fig. 13 An analysis of player's action



図 14 アバタの干渉

Fig. 14 A conflict of player's avatar

たとえられる。

課外授業全体の感想に対しては、約半数がマヤ文字に興味を持ったと回答した。他の回答としては、「古代にどのような儀式や建築物があったかということが判った」、「マヤ人が様々な工夫をしていたことが判った」、「優れた文明であった」などがあり、これらの感想を含めると、ほぼ全員がマヤ文明について何らかの興味をもったと考えられる。古代マヤ文明に対する理解は、没入感の高いシアター型 VR 環境での体験学習が大きな効果をもたらしたと考えられる。またマヤ文字に重点をおいたスタンプラリーでは、グループ学習によって実際にマヤ文字を解読するなどの作業を通じて、マヤ文字への興味を喚起したと考えられる。今回構築したスケーラブル VR システムにより、これらの

安藤・吉田・谷川・王・山下・葛岡・廣瀬：スケーラブル VR システムを用いた教育用コンテンツの試作-マヤ文明コパン遺跡における歴史学習-

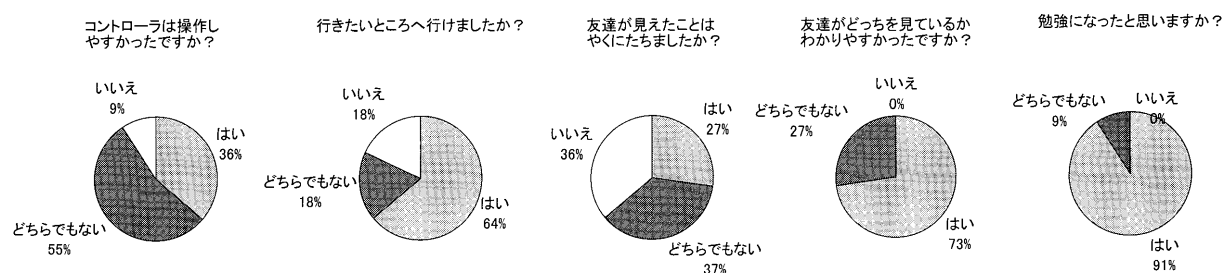


図 15 アンケート結果
Fig. 15 A result of questionnaire

異なる学習モデルを同時に支援することができ、より効果の高い教育アプリケーションの作成が可能であることが確かめられた。

7 まとめ

本論文では、異種 VR 環境を相互接続した環境において、体験型学習やグループ学習を支援するための教育アプリケーションモデルについて考察を行った。その上で、同一の部屋に全員が映像を共有できるシアター型 VR 環境と、個別に操作可能なホーム型 VR 環境を設置し、ギャラリートークとグループ学習が同時に可能なシステムを構築した。さらに、小学校の児童を対象とした課外授業を実施することで、本システムの効果に関する検証を行った。

まず、ギャラリートークによって、従来の映像メディアでは得られない高い没入感と臨場感によってマヤ文明への興味が喚起されたと考えられる。さらに、スタンブラリーゲームでは、他者との相互作用が認められ、これにより同一の部屋でホーム型 VR 環境を複数接続した仮想空間の共有がコミュニケーション形態として成立しうることが確認できた。

一方で、スタンブラリーでのシアター型 VR 環境が十分に生かし切れないという問題もあり、今後はマップのように単に参加者が共有することで利便性のある映像を表示するだけでなく、状況に応じて適切な内容に切り替えるなど、効果的な表示手法についても検討していく必要がある。また、操作インタフェースについても、利用者や操作内容を考慮した改良が今後求められる。さらに、学校教育での利用を前提とした教育アプリケーションだけでなく、より幅広いユーザーを対象とした共同学習のためのインタフェース等を開発し、博物館展示などにも利用可能なシステムを目指していく予定である。

謝辞

課外授業にご協力頂いた慶應義塾幼稚舎の鈴木二正先生、中澤綾子先生、コンピュータクラブの皆さん、ならびに早稲田大学の寺崎秀一郎氏に厚く御礼申し上げます。また、実験の計画、および分析にご助言頂いたメ

ディア教育開発センターの加藤浩氏に感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 廣瀬, 小木, 石綿, 山田: 多面型全天周ディスプレイ (CABIN) の開発とその特性評価, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J81-D- , No.5, pp888-896 (1998)
- [2] 西岡: デジタルアーカイブと高臨場感ディスプレイ, 映像情報メディア学会, Vol.55, No.8/9, pp.1089-1093 (2001)
- [3] 谷川, 吉田, 安藤, 王, 葛岡, 廣瀬: 異種 VR システムの統合によるスケーラブル VR に関する研究, 日本 VR 学会第 7 回大会論文集, pp.417-420 (2002)
- [4] H.Ishii, M.Kobayashi, "ClearBoard: A Seamless Medium for Shared Drawing and Conversation with Eye Contact", Proc. CHI'92, pp.533-540 (1992)
- [5] H.Kuzuoka: "Spatial Workspace Collaboration: A SharedView Video Support System for Remote Collaboration", Proc. CHI'92, pp.533-540 (1992)
- [6] 山下, 葛岡, 山崎, 山崎, 加藤, 鈴木, 三樹: 相互モニタリングが可能な遠隔共同作業支援システムの開発, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.4, No.3, pp.495-504 (1999)
- [7] S.Sugawara et al., "Interspace Project - Cyber-Campus", Video Program of CSCW'96 (1996)
- [8] T.Ogi, T.Yamada, K.Hirota, M.Hirose, "Immersive Telecommunication Using Stereo View Avatar", Proc. IEEE VR2001, pp.45-51 (2001)
- [9] M.Capps, D.McGregor, D.Brutzman and M.Zyda, "NPSNET-V: A New Beginning for Dynamically Extensible Virtual Environments", IEEE Computer Graphics and Applications, November/December 1999, pp.12-15 (1999)
- [10] C.Greenhalgh, J.Purbrick and D.Snowdon, "Inside MASSIVE-3: Flexible Support for Data Consistency and World Structuring", Proc. of CVE2000, pp.119-127 (2000)
- [11] J.Leigh, A.E.Johnson, T.A.DeFanti, M.D.Brown et al., "A Review of Tele-Immersive Applications in the CAVE Research Network", Proc. VR'99, pp.180-187 (1999)
- [12] 宇都宮, 坂元監修: 教育とシステム (教育情報学 I), 第一法規 (1988)
- [13] 二瓶: 病院に動物園がやってきた! 子供と家族にやさしい医療を求めて, (株) ジャストシステム (1996)
- [14] 加茂: デジタルアーカイブとバーチャルリアリティ表現, 科学と工業, Vol.76, pp.344-349 (2002)
- [15] 加藤, 有元編著: 状況論的アプローチ 2 認知的道具のデザイン, 金子書房, pp.210-238 (2001)

(2002 年 11 月 26 日受付)

[著者紹介]

安藤 真 (正会員)



1996年 成蹊大学工学部工学研究科博士前期課程修了。同年 凸版印刷株式会社入社。VRによるデジタルアーカイブを中心としたコンテンツ製作、大型映像展示システムの技術開発に従事。2001年 通信・放送機構研究員。

吉田 和弘



1993年 東京工業大学理学部物理学科卒業。1998年 同大学大学院理工学研究科基礎物理学専攻博士課程修了。同年 株式会社エクサ入社。リアルタイムCG, VRの描画アプリケーション等の開発・研究に従事。博士(理学)。

谷川 智洋 (正会員)



1997年 東京大学工学部産業機械工学科卒業。1999年 同大学大学院工学系研究科機械情報工学専攻修士課程修了。2002年 同大学博士課程修了。同年 通信・放送機構研究員。イメージ・ベースト・レンダリング, MRに関する研究に従事。博士(工学)。

王 燕康



1992年 長崎大学大学院工学研究科修了。1995年 同大学大学院生産科学研究科博士課程単位取得退学。同年 同大学工学部電気情報工学科助手。2001年 通信・放送機構研究員。高能率画像符号化, パターン認識に関する研究に従事。博士(工学)。

山下 淳 (正会員)



1997年 筑波大学第三学群工学システム学類卒業。1999年 同大学大学院修士課程理工学研究科修了。2002年 同大学大学院博士課程工学研究科単位取得退学。同年 東京大学先端科学技術研究センター特任助手。共同作業支援(CSCW), グループウェア, 五感情報通信の研究に従事。博士(工学)。

葛岡 英明 (正会員)



1986年 東京大学工学部機械工学科卒業。1988年 同大学大学院情報工学専攻修士課程修了。1992年 同大学大学院博士課程修了。1992年 筑波大学構造工学系講師。1997年 カナダ, Dept. of Comp. Sci., Univ. of Calgary 客員研究員。2000年 筑波大学機能工学系助教授。共同作業支援(CSCW), グループウェアの研究に従事。博士(工学)。

廣瀬 通孝 (正会員)



1977年 東京大学工学部産業機械工学科卒業。1997年 同大学大学院修士課程修了。1982年 同大学大学院博士課程修了。同年 東京大学工学部産業機械工学科専任講師。1983年 同大学助教授。1999年 東京大学大学院工学系研究科機械情報工学専攻教授。同年 東京大学先端科学技術研究センター教授。主にシステム工学, ヒューマンインタフェース, バーチャルリアリティの研究に従事。工学博士。