

VisTA：可視化技術を用いた 考古学データの対話的シミュレーションシステム

門林 理恵子 エドゥアルド ネーテル 間瀬 健二

(株) ATR 知能映像通信研究所

E-mail:{rieko,mase}@mic.atr.co.jp

著者らは、新しい知識共有のための枠組みとして Meta-Museum を提案し、専門家と非専門家とのコミュニケーション支援技術の一例として考古学データベースからの対話的知識獲得支援システム VisuArch を開発中である。そのうち、集落の発展に関する仮説生成と検証のプロセスを支援する VisTA システムを開発した。VisTA システムを用いると、集落の変遷のシミュレーションを3次元CGとして可視化することができ、利用者は、容易に仮説の生成、検証が行える。

1 はじめに

近年のインターネットの急激な普及は、新たな情報流通手段を提供し、知識共有のありかたを大きく変えつつある。個人が一方的に情報を受取るだけでなく、自ら発信したり、積極的に情報空間の探索を行うようになってきた。このような時代にあって、博物館、美術館（以下、博物館で総称する）などもインターネットを活用して情報提供するなど、変化してきている。しかし、現在の博物館は、利用者が体系化された高度で専門的な知識に触れ、知りたいことを知り、学びたいことを学ぶ場としては未だ不十分である。その主な理由は、博物館の活動がモノの展示を中心としており、そのモノに関する情報への利用者からの積極的な働き掛けの手段が限られていることにある。この意味においては、インターネットを利用した博物館からの情報発信も、利用者にとって容易にまたタイムリーに展示に関する情報を得る手段としては、有効と考えられるが、自らの興味や視点に

基づき、知識を獲得する手段としては非常に限られたものである。

そこで、著者らは、モノとそれに関する情報空間を統合し、専門家によって蓄積された高度な専門知識を、非専門家である利用者が自由に引き出し、学び、体験することで知識の共有が促進される枠組みとして Meta-Museum を提案した [2]。Meta-Museum は、博物館での知識の流れを、展示という一方向のものから、専門家と非専門家との間のコミュニケーションという双方向のものへと転換することを目的とし、そのために必要なコミュニケーション支援のための様々な機能を提供する。たとえば、専門家によって体系づけられた実体の展示を、情報空間への入り口として位置付け、両者のシームレスな融合を目指している。このような考え方は、文献 [5] においては、自然史博物館を例にして物語風に述べられているが、具体的なアプローチは示されていない。

現在、各地の博物館において、様々なデータベースが作成されつつある。専門家と非専門家との非同期のコミュニケーションを効率良く支援するためには、このような大規模で分散したデータベースから、利用者一人一人の興味や視点などに応じて、新しい知識を獲得できる機構が必要となる。これには、データベースからの知識獲得 (KDD: Knowledge Discovery in

VisTA: An Interactive Visualization Tool for Simulation of Archaeological Data
Rieko KADOBAYASHI, Eduardo Neeter and Kenji MASE
ATR Media Integration & Communications Research Laboratories

Databases) [4] と呼ばれる手法が有効と考えられる。データベースから新しい知識を獲得するまでには、いくつかのステップを経る必要があるため、この過程全体を指して、KDD プロセス [1] と呼ばれる。著者らは、Meta-Museum における知識獲得過程の支援の一例として、VisuArch と呼ぶ考古学データベースからの対話的知識獲得支援システムを構築中である [3], [7]。

本稿では、VisuArch システムの一部である VisTA システムについて述べる。VisTA は、知識獲得過程の後半に位置付けられる仮説の生成と検証ステップを 3 次元可視化技術を用いたシミュレーションによって、専門家による、時空間データを対象とした仮説の生成と検証作業を支援する。また、非専門家にも開放し、専門家の知識を非専門家自身が操作することによって深い理解が得られるように支援して、知識の共有を図ることを目指している。

以下、まず 2 章で、Meta-Museum における VisTA システムの位置付けと役割を明らかにする。次に、3 章でシステムの特徴、構成、操作方法等について述べる。4 章で、3 次元モデルの作成方法と、5 章で、博物館での展示としての展望に触れ、最後に、6 章でまとめと課題を述べる。

2 VisTA システムの位置付け

2.1 Meta-Museum における知識獲得プロセス

Meta-Museum における知識獲得プロセスを図 1 に示す。まず、データベースから、研究や知識獲得の対象となる分野のデータを選択する。次にデータマイニングによって、それらのデータ間に共通するパターンを見いだす。そして抽出されたパターンを解釈し、仮説を生成する。この仮説は検証のステップを経て、新しい知識となる。しかし、検証の結果、仮説に問題があれば、仮説の修正を行い、再び検証しなければならない。あるいは、データマイニングのやり直しによって別のパターンを求めたり、データの選別からやり直す必要があるかもしれ

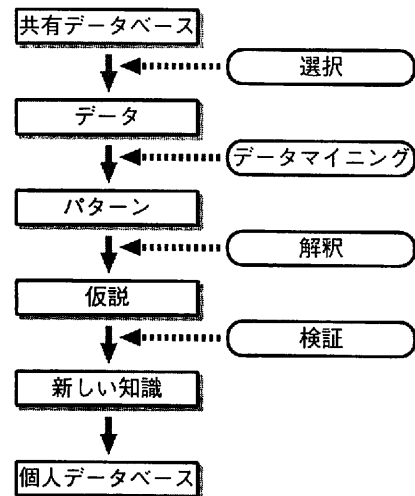


図 1: Meta-Museum における知識獲得プロセス

ない。このように、知識獲得プロセスは、複数のステップから構成され、しかもそれらが何度も繰り返される可能性がある。したがって、複数のステップからなる知識獲得プロセス全体を支援する必要がある。

2.2 VisuArch と VisTA

専門家の知識獲得プロセスの支援の一例として、著者らは考古学分野を対象とした VisuArch システムを開発中である。VisuArch を利用して得られる知識として、たとえば、古代の集落の変遷過程についての知識がある。集落遺跡の発掘調査によって得られるデータは、住居や倉庫などの建物の柱の穴や井戸などの遺構に関するもの、土器、木製品や装飾品などの遺物に関するものなど様々である。集落の生成、発展、消滅といった変遷についての知識を得るためには、これらのデータの中から時間と空間に関する情報を抽出して組み合わせる必要がある。この際、発掘から得られる確かな情報として、空間データである建物の柱の穴のデータをまず選びだし、次に柱穴の大きさや並び方などから建物の位置、大きさ、形などのパターンを抽出する。そして、建物の候補となる空間データ

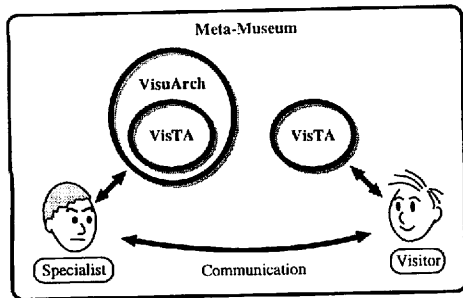


図 2: Meta-Museum における VisTA システムの役割

に、同時に出土した土器などの情報に基づき、適切な存続年代を設定して時間方向の仮説を生成し、その仮説を検証するというプロセスを踏む。

このうち、建物の存続年代に関する仮説を生成し、それを検証する部分を支援するのが、VisTA システムである。すなわち、VisTA では、発掘調査によって得られる柱穴の位置、大きさのデータから、すでに建物候補については得られているものと仮定している。利用者は VisTA を使用して、個々の建物の存続期間を対話的に設定し、リアルタイムでシミュレーションすることが可能である。

2.3 VisTA の役割

1章で述べたように、Meta-Museum は、専門家と非専門家が様々なコミュニケーションを通して、知識を共有するための環境であり、両者が互いの知識や質問を相手にうまく伝えるための道具が必要となる。つまり、1) 専門家による研究の支援、2) その成果を容易に一般の利用者に提供することの支援、そして、3) 利用者が自分の興味などに基づいて専門知識を取りだし、理解することの支援を行うためには、専門家と非専門家の双方に共通の道具を提供することが有効と考えられる。

VisTA の位置付けは図 2 のようになる。専門家は、Meta-Museum が提供する機能の一つである VisuArch を用いて、古代の集落についての詳細な研究を行うことができる。そして、そ

の成果の一部である集落の変遷過程を VisTA システムを用いて、3次元 CG によってわかりやすく非専門家に伝えることができる。非専門家は、専門家によって可視化された集落の生成、発展、消滅の過程を見るだけでなく、集落内を自由に“歩き回って”景観を確認したり、住居そのものの構造などについての知識を得たりすることができる。このように、VisTA の環境と知識を共用することで、ギャップの生じがちな専門家と非専門家とのコミュニケーションを円滑に行うことが可能となる。

3 VisTA システム

3.1 特徴

すでに述べたように、集落の変遷についての知識を得るためには、空間的な情報の上に時間的な仮説を組み立てるというプロセスになる。ところが実際に得られるデータは、空間的な配置が時間方向に圧縮されており、また、時間的な思考をすることに人は慣れていないため、遺跡内のすべての建物について、年代を推定し、かつ互いに矛盾がないかを検証することは、これまで非常に困難であった。

VisTA では、3次元 CG によってシミュレーションの可視化を行うため、時空間データに関する仮説を生成し、検証することが容易にできる。利用者は個々の建物の存続期間を対話的に設定し、リアルタイムでシミュレーションすることが可能である。また、3次元 CG によって復元された集落の中を歩き回ることも可能であり、立地条件や隣接家屋との距離など生活感に基づいた仮説検証も可能である。これは、集落の変遷シミュレーションの実行中でも可能である。つまり、時空間を自由に移動して、仮説を生成、検証することができる。さらに、発掘調査によって得られた原情報などを、集落内の位置に合わせて見ることも可能である。住居や倉庫などを選択すると、それらに関連した情報が表示される。こうすることで、直感的なデータベース操作を行うことができ、仮説生成が容易になる。

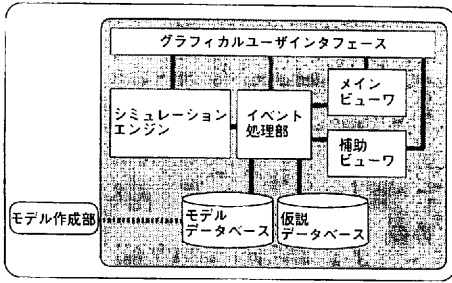


図 3: システム構成

3.2 システム構成

本システムは、バーチャルリアリティの世界のプロトタイピングに適したシリコングラフィックス社の Open Inventor をベースに作成した。システム構成を図 3 に示す。VisTA は、モデル作成部と網掛けで示された本体部にわかる。

遺跡の地形や建物の 3 次元モデルは、あらかじめ他のソフトウェアで作成しておく。これらの 3 次元モデルは、VisTA のモデル作成部によって、Open Inventor が処理可能な形式に変換され、モデルデータベースに蓄積される。

コンソールウィンドウやシミュレーション制御ウィンドウなどのグラフィカルユーザインタフェースを通して、利用者の指示が入力され、イベント処理部によって、それぞれの内容に応じたルーチンが起動される。たとえば、利用者がコンソールウィンドウで遺跡データを選択すると、そのデータが、モデルデータベースから読み込まれる。建物の存続年代の設定や変更などの操作を行うと、利用者個人の仮説データが作成されたものとし、保存操作によって仮説データベースに蓄積される。

シミュレーション制御ウィンドウからの入力には、シミュレーションエンジンに渡される。ここでは、各々の建物の出現、消滅がイベントとして管理され、シミュレーション期間全体にわたるイベントリストが作成される。たとえば、ある建物の存続期間が変更されると、その建物の出現と消滅のイベントが指定された年代に発生するようにイベントリストが更新される。このイベントリストに従って、メインビューと

補助ビューは仮説データを表示する。

復元された遺跡内を利用者が“歩き回る”ための操作インタフェースは、Open Inventor が提供するダイアルとマウス操作による。メインビューと補助ビューはともに同じデータを参照しているが、メインビューは、利用者の背の高さに合わせてカメラ位置が設定されているのに対し、補助ビューは通常は鳥瞰図を提供するよう、高い位置に設定されている点が異なる。モデルの表示には、LOD(Level Of Detail) 制御を行い、応答速度と表示品質のバランスをとっている。

3.3 操作方法

利用者は VisTA システムを起動すると、まず、モデルデータベースから対象遺跡のデータを選択する。これは、地形データと住居などの建物が存在した位置のデータを含んでいる。建物が存在した場所には、その建物の床の形状に合わせて、四角形や円形をした床マークが表示される。そこで、これらの床マークを選び、存在した建物の種類、年代、識別名を入力する。遺跡内にある床マークの一部、あるいは全部についてこの作業を行ったのち、シミュレーションを実行すると、集落の変遷の様子を 3 次元 CG によって確認することができる。ここで不都合な点があれば、先ほどの作業を繰り返し、存在年代などの情報を修正する。そして、結論に到達するまで何度でも、上記のプロセスを繰り返す。このようにして、集落の変遷過程に関する仮説を生成、検証し、新しい知識を獲得することができる。図 4 に VisTA システムの動作例を示す。

シミュレーションを実行している間、あるいは停止してから、3 次元 CG で復元された集落の中を歩き回ることができる。また、住居の中に入り、構造を見ることも可能である。これによって、集落内のある地点からの光景がどのようなものであったかといった視点からの研究も可能である。

これらの機能は、ウィンドウを用いたグラフィカルユーザインタフェースによって提供される。

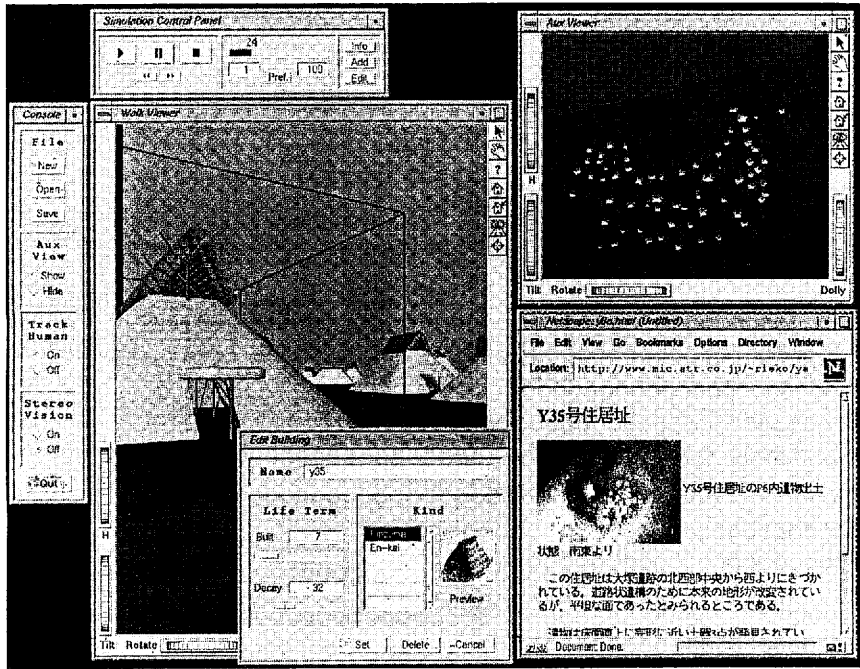


図 4: VisTA システムの動作例

ウィンドウは、シミュレーションを制御するためのウィンドウと、CGを利用して可視化されたシミュレーションを表示するためのビューウィンドウの2種類がある。以下、それぞれのウィンドウが提供する機能について述べる。

3.4 制御ウィンドウ

VisTA システムを実行中、常に表示されている制御ウィンドウには、コンソールウィンドウとシミュレーション制御ウィンドウがある。コンソールウィンドウは、ファイルの入出力や表示方法などのオプションを処理し、シミュレーション制御ウィンドウは、シミュレーションの操作のためのインタフェースを提供する。さらに、必要に応じて、シミュレーションの早さや期間を設定するためのウィンドウや、住居のデータを編集するためのウィンドウが開く。

3.4.1 コンソールウィンドウ

コンソールウィンドウ（図4の左にある縦長のウィンドウ）は、VisTA システム全体を管理するためのウィンドウである。一番下にはシステムを終了するための“Quit”ボタンがある。その他は、4つの部分に分れており、一番上は、ファイル操作、2番目の部分は補助ビューの表示の有無、3番目の部分は利用者の位置を示す仮想人物の追跡の有無、そして最後の部分はステレオ立体視の有無を制御するためのものである。

“Aux Viewer”部分で“Show”を選択すると、集落全体の鳥瞰図が表示される。これを利用すれば、自分が今どこを歩いているのかがわかる。

“Track Human”機能を“On”にすると、“Aux Viewer”機能によって表示される鳥瞰図が自分の位置を中心としたものになる。

“Stereo Vision”機能を“On”にすると、集落のCGがステレオ画像で表示されるので、Sil-

icon Graphics社の“Crystal Eyes”と呼ばれる
Googleのような眼鏡を装着すれば、立体感の
ある映像を見ることができる。

3.4.2 シミュレーション制御ウィンドウ

シミュレーション制御ウィンドウ（図4の上
の横長のウィンドウ）は、3つの部分からなる。
左の部分は、シミュレーションを操作するため
のものである。上の3つのボタンを押すことで、
それぞれ、集落の変遷のシミュレーション映像
を再生、一時停止、停止することができる。そ
の下にある小さなボタンは、住居が建つ、消滅
するといったイベントのあったときだけを、順
に表示するためのものである。左側は時間を遡
り、右側は年代順に進む。

真中は、遺跡の存続した期間のうちのシミュ
レーションする期間と、現在ビューワに表示さ
れている年代を表示する。シミュレーションの
期間や、速さの設定は、プレファレンスウイ
ンドウで行う。たとえば、1年から100年まで
のシミュレーションを20秒で行うように設定す
る。

右の部分は、建物のデータを操作するための
のものである。新しい建物を追加するには、ま
ず、その建物を建てる場所にある床マークを選
択する。そして、“Add”ボタンを押すと、建
物を床マークのところに追加するための“New
Building”ウィンドウが開き、建物の識別名、
存続期間、種類の属性を設定する。すでに存在
している建物のデータを変更する場合は、その
建物を選択してから、“Edit”ボタンを押して
図4の中央下にある“Edit Building”ウイ
ンドウを開き、新しい値を設定すればよい。“New
Building”ウィンドウとの違いは、削除ボタ
ンを含んでおり、既存の建物を削除すること
ができる点である。また、建物を選択しないで
“Edit”ボタンを押すと、存在する建物の一
覧表が現れるので、この中から必要なものを選
択し、修正を行ってもよい。

3.5 ビューワ

ビューワは、シミュレーションの結果を表示



図 5: 建物の中に入ったときの例

するためのウィンドウである。同時に、ビュー
ワは、集落の中を“歩き回る”ために必要な機能
を提供する。このウィンドウの枠の左下につい
ているダイヤルを操作することで、集落内を移
動できる。もちろん、立ち止まって周囲を見渡
すことも可能である。

ビューワには2種類ある。一つは、図4の中
ほどにある“Walk Viewer”と呼ぶメインビュー
ワで、利用者から“見える”集落の光景を表示
する。もう一つは、“Aux Viewer”（図4右上）
と呼ぶ補助ビューワで、集落全体の鳥瞰図を提
供するとともに、利用者の代りとなる仮想人物
を表示して、遺跡や建物の大きさや方向を容易
に把握できるようにする。

この仮想人物は、仮に身長170cmに設定し
てある。利用者がWalk Viewerで見ている光
景は、この仮想人物の目の高さに合わせて作
成されたものである。図5は、利用者が住居の
中にいる様子を表している。真中にあるWalk
Viewerでは、住居の中の構造だけが見えてい
る。それに対し、右上のAux Viewerには、仮
想人物も表示されており、その身長と比較す
ることで、この住居の大きさを直感的に把握す
ることができる。

また、図6に、補助ビューワを利用した集落
変遷シミュレーションのスナップショットを示
す。左上、右上、左下、右下の順に時間が経過
し、集落の景観が変化したことを示している。

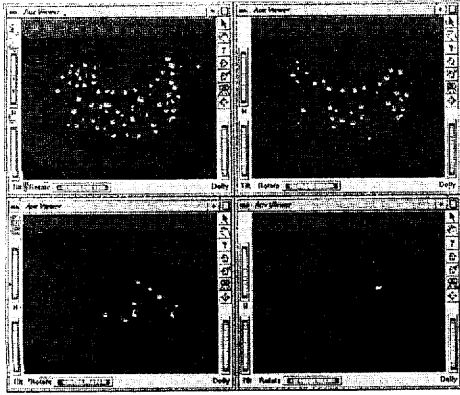


図 6: シミュレーション結果の例

4 遺跡の3次元モデルの作成

今回、VisTA システムの応用例として横浜市にある大塚遺跡^[8]を取上げた。大塚遺跡は、弥生時代の環濠集落の遺跡で、環濠内が完全に発掘された数少ない例であり、報告書が刊行されているので、遺跡全体の実測図の入手が容易であったためである。また、図7より明らかなように、各住居の床面が検出されており、建物の存在した位置や大きさなどを求めるといった前段階の処理がほとんど不要である。

まず、地形モデルの作成方法について述べる。大塚遺跡では、CADデータが入手できなかったため、図7に含まれる等高線をコンピュータに入力する作業が必要であった。環濠はほぼ海拔47m以上のところにあるので、47m以上については1mごと、それより下は、45、40、35メートルの5mごとの等高線を使用した。このようにして作成した等高線データを用い、等高線間を自動的に補完して、地表面を作成した。遺跡内の住居の位置は、直方体に近い形状を持つ床マークを作成し、実測図から得られる床面の大きさや、主軸の向きを反映しつつ、地形データの上に置くことで示している。この2次元の実測図から作成した3次元モデルが、研究者すべてに提供される共通データベースとなる。

このデータベースを利用して、研究者が個人

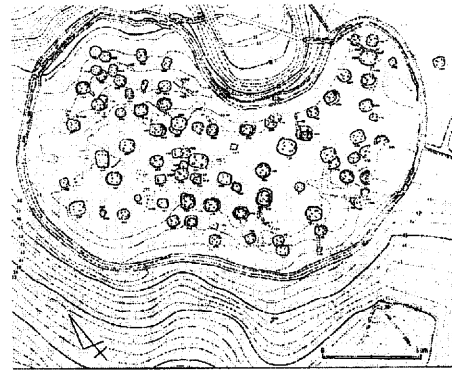


図 7: 大塚遺跡の実測図 (出典: 文献[8])

の仮説を生成し、検証することになるが、その際に使用するのが、住居の形状モデルである。これまでに、平面が長方形のものと円形のものをも3次元モデル化した。それぞれ、一般に公開されている復元模型や図版を参考に、柱などの構造、屋根の形などをモデリングした。これらの住居モデルの幅、奥行き、高さは、床マークの大きさに合わせて変形される。

5 博物館展示としてのVisTA

VisTA システムは、考古学の専門知識を持たない一般利用者向けの博物館展示に供することができる。この場合の利用者には大人だけでなく子供も想定される。したがって、コンピュータ操作に慣れない利用者向けに、機能の制限を加え、一部の機能だけで展示するように設計している。考古学の成果を理解しやすくするための道具として位置づけて、仮説生成/検証のための機能を隠し、歩き回る機能を中心に提供する。しかし、1章でも述べたように、非専門家である来館者が自分の興味に基づいて自発的に知識を獲得するためには、専門家の研究方法を学び、思考の流れを追体験する道具として使用できることが大切である。操作に慣れ親しんだあとに、さらに探索を深める時に、どのように機能の隠蔽をはずしていくかは今後の課題である。

さらに、将来の展示の在り方の一例として、

170 インチの大スクリーンを利用したシステムを構築中 [6] である。このスクリーンの上と天井とに設置されたカメラが、利用者の簡単な身振りを検出することができる。この身振りは、スクリーン上に復元され写し出された集落内を歩き回るためのインタフェースとして解釈される。そして、たとえば、スクリーンの手前に土器などの実物を展示しておき、利用者がそれを指差すと、大スクリーンの中の集落内で古代の人々がその土器を使用している光景などが表示されるといった展示も可能となろう。あるいは、Google 程度の大きさのヘッドマウントディスプレイが開発されれば、目の前の展示物と大スクリーンに表示された仮想空間とに関連づけられた解説を、利用者一人一人に異なる形で提示することも可能になると考えている。

6 まとめ

本稿では、Meta-Museum プロジェクトの一貫として開発した VisTA システムについて述べた。VisTA システムは、データベースから新しい知識を発見し、獲得する過程を支援する VisuArch システムのサブシステムであり、古代の集落の変遷過程のシミュレーションを 3次元 CG を用いた可視化を行うことで、時空間データを対象に、仮説を生成、検証する過程を容易に行えるようにするものである。

今後は、建物のモデルの追加や、同時に存在した建物の一覧表作成などの機能の追加、柔軟で使いやすいユーザインタフェースの開発などの課題を解決する予定である。

謝辞

大阪府教育委員会の広瀬和夫氏、榎宜田佳男氏、泉大津市立織編館久仁士氏には、資料提供をはじめ多大なご助力を頂いた。ここに深謝の意を表す。また、本研究の機会を与えて下さった (株) ATR 知能映像通信研究所中津良平社長と、有益な議論に参加して下さった第 2 研究室のメンバーに感謝する。

参考文献

- [1] Fayyad, U., Piatetsky-Shapiro, G., Smyth, P., Uthurusamy, R.: *Advances in Knowledge Discovery and Data Mining*, AAAI/MIT Press, 1996.
- [2] 門林 理恵子, 間瀬健二: 新しいコミュニケーション環境としての MetaMuseum, 情報処理学会マルチメディア通信と分散処理ワークショップ論文集, pp. 71-78 (1995).
- [3] 門林 理恵子, エドゥアルド ネータル, 間瀬健二: 考古学データベースからの対話的知識獲得の支援手法, 1996 年電子情報通信学会情報・システムソサイエティ大会講演論文集, pp. 525-526 (1996).
- [4] 河野 浩之, 西尾 章治郎, Jiawei Han: データベースからの知識獲得技術, 人工知能学会誌, vol. 10, no. 1, pp. 38-44 (1994).
- [5] Kellogg, W. A., Carroll, J. M. and Richards, J. T.: *Making Reality a Cyberspace*, サイバースペース, マイケル・ベネダイクト編, NTT 出版株式会社 (1994).
- [6] Mase, K., Kadobayashi, R. and Nakatsu, R.: Meta-Museum: A Supportive Augmented-Reality Environment for Knowledge Sharing, *Proc. of International Conference on Virtual Systems and Multimedia VSMM'96 in Gifu*, pp. 107-110 (1996).
- [7] Neeter, E., Kadobayashi R. and Kenji Mase: An Interactive Visualization and Simulation Tool for Archaeological and Geographical Data, *ATR Technical Report, TR-M-0007* (1996).
- [8] 横浜市埋蔵文化財センター: 大塚遺跡 港北ニュータウン地域内埋蔵文化財調査報告 XII, 1991.