

3次元空間での対話的な問合せモデルの定義と モジュール型可視化システムへの適用

渡辺知恵美[†] 石田愛[‡] 植村亜以[‡] 城和貴[†]

[†]奈良女子大学大学院 人間文化研究科 〒630-8506 奈良県奈良市北魚屋西町

[‡]奈良女子大学 理学部 情報科学科

E-mail: {chiemi, ishida, poo, joe}@ics.nara-wu.ac.jp

あらまし 本稿では、3次元空間における対話的な問合せ手法として我々が開発している Queryball の、問合せモデルの定義および当モデルのモジュール型可視化システムへの適用について述べる。Queryball は半透明の球体であり、探索条件および探索条件に該当する（または該当しない）オブジェクトに対する表示方法を持つ。ユーザは生成された Queryball を仮想世界のオブジェクトに対して重ね合わせたり、複数の Queryball を組み合わせるなどという直感的な操作により試行錯誤的に問合せを行うことができる。我々は Queryball の開発をモジュール型可視化システムという汎用的でプログラマブルな可視化システムの上に実装し、モジュール型可視化システムにおける可視化処理フロー記述方法に基づいた Queryball 問合せ定義記述モデルを定義し、Queryball を定義し利用するための一連の環境を実装した。

キーワード 没入型 VR システム, 問合せインタラクション, ビジュアルデータマイニング

Definition of Interactive Query Model in 3D Space and Application of Modular Visualization System

Chiemi WATANABE[†] Ai Ishida[‡] Ai Uemura[‡] and Kazuki JOE[‡]

[†] Graduate School of Humanity and Science, Nara Women's University

Kitauoyanishimachi, Nara-city, Nara, 630-8506 Japan

[‡] Faculty of Science, Department of Information Sciences, Nara Women's University,

E-mail: {chiemi, ishida, poo, joe}@ics.nara-wu.ac.jp

Abstract In this paper, we describe about interactive query model of “Queryball” system, which is developed by Nara-women's university, and we describe about application the query model to the modular visualization system. Queryball is a new style of querying model for intuitive and heuristic query interaction. Queryball, which is a translucent ball, is defined as a quadruple of area specification, search condition, and two types of display methods. The search condition can be applied only to the virtual objects inside of the Queryball. The query results are shown to the user according to the display method. The position and radius of the Queryball changes when the user moves the Queryball interactively with observing the query results. We are developing Queryball system on the modular visualization system which is programmable and then usable to variable purpose of visualization. We defined query definition model for queryball based on the model of modular visualization system, and we developed environments for defining queryballs and using them.

Keyword Database System, Query Interaction, Visual Data Mining, Visualization System

1. はじめに

近年、科学技術データの可視化は必要不可欠な要素となりつつあり、特に3次元空間での可視化はウォークスルーによりさまざまな視点からオブジェクトを視認でき直感的に理解しやすいことから、多様な分野で用いられている[1]。また、単に効果的なプレゼンテーションとして可視化結果を示すだけでなく、ビジュアルデータマイニングとして既存のモデルでは解明できないデータ間の関連を人間の目と直観力で解明する試みも多く見られるようになってきている[2]。ビジュアルデータマイニングでは、3次元空間に表示された可視化結果

に対する対話的なデータの呼び出しや条件による表示の絞込み等を行うために、可視化支援システムでの問合せ機能が重要であり、またその対話性の高さも要求される。

そこで、我々は可視化支援システムにおける対話性の高い問合せモデルを提案しプロトタイプシステムの実装を行っている。我々が提案する問合せモデルの大きな特長は、個々の問合せが適用範囲となる領域を持つこと、その領域を3次元空間上で半透明な物体として表示しその物体を直接操作することによってユーザ

が問合せを対話的に変更できる点である。我々は先に文献[3]において問合せモデルの定義を行ったが、本稿ではこれをモジュール型可視化システムに導入するためにモデルの拡張とシステムの実装を行った。以下、我々が提案している対話的な問合せについて2節で述べ、3節でモジュール型可視化システムへの適用について述べる。4節でシステムの実装と問合せを行うための実際の対話手順について述べる

2. 先行研究

2.1. 概要

我々が提案している問合せモデルは、直接操作による対話性を重視したものとなっている。まず、問合せ条件を3次元空間の領域に対して定義し、その領域を半透明の物体として3次元空間に表示する。そして、その半透明な物体をユーザが直接操作したり重ね合わせたりすることによって対話的に問合せの変更を行うことを可能にする。我々の提案する問合せモデルを分かりやすく示すために、3次元データへの適用例を示す。

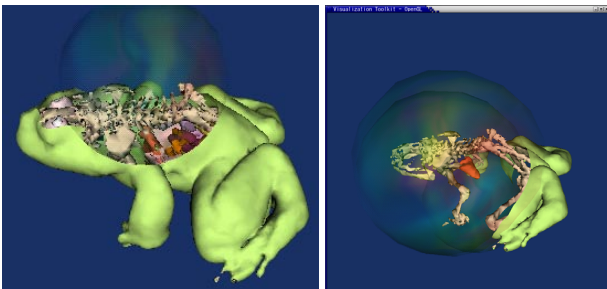


図1 対話的問合せモデルの適用例

図1(a)はカエルのデータに対して問合せを適用した例である。このデータはカエルのスライス画像から構成したデータであり、前処理として皮膚と骨、そして15の内臓器官にセグメント化されている。この図はこのデータに「皮膚データを透明化する」問合せを適用しているところである。この問合せは、カエルに重ねられている球体の領域に対して定義されており、その球体の内部にのみ問合せが適用される。問合せの領域は半透明の球体として表示されており、この球体をマウスでドラッグすることにより、問合せを適用させる範囲を自由に変更したり、範囲の大きさを変更したりすることが可能である。また、これらの半透明の領域を重ね合わせることによって、より複雑な問合せを対話的に構成して言うことが可能である。図1(b)では、図1(a)の問合せで皮膚が取り除かれた領域に、「内臓データを全て取り除く」という問合せおよび「心臓データを赤く表示する」という問合せを重ね合わせたものである。このようにして、問合せ条件の絞込みを物

体の重ねあわせという形で表現することにより、直感的で対話的な問合せの構築が可能となる。

2.2. 問合せモデルの基本定義

本節では、文献[3]によって定義された問合せモデルについて述べる。

問合せ R は、領域条件 B と、複数の探索条件 S と表示メソッド P の組によって次のように定義される。

$$R = (B, (S_0, P_0), \dots, (S_n, P_n)) \quad (1)$$

基本的に重ね合わせの無い単一の問合せでは、式(2)のように領域条件 B 、探索条件 S 、探索条件 S に対する表示条件 P_s およびその否定 $\neg S$ に対する表示条件 P_u の4つ組で次のようにあらわすことができる。

$$R = (B, (S, P_s), (\neg S, P_u)) \quad (2)$$

また、図2のように問合せ領域 R_i と R_j を重ね合わせた状態を次のように定義する。

$$R_i \cap R_j = (R_i - R_j) \cup (R_j - R_i) \cup (R_i \cap R_j) \quad (3)$$

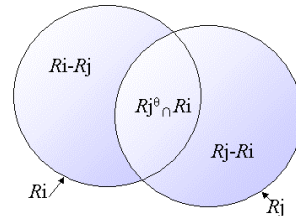


図2 $R_i \cap R_j$

$R_i - R_j$, $R_j - R_i$, $R_i \cap R_j$ は図2に示す領域である。 R_i , R_j は2つの探索条件 S_1 と S_2 が重なり、2つの問合せの論理和 () または、論理積 () が導出される。

- ・論理和 ($R_i \cup R_j$) における探索条件と表示方法：論理和による重ね合わせは、問合せ結果の重畳表示として表される。つまり R_i の探索条件および表示方法と R_j の探索条件および表示方法の両方をそのまま採用し、以下のように定義する。また S_1 と S_2 の両条件に該当するオブジェクトは、 P_{S_1} と P_{S_2} のどちらでもない強調表示方法をシステムが自動的に提供するものとする。

$$(S_i \cup \neg S_j, P_{S_i}), (S_j \cup \neg S_i, P_{S_j}), (S_i \cap S_j, P_{S_k}), (\neg (S_i \cap S_j), P_{ui}) \quad (4)$$

P_{S_k} はシステムが自動的に提供し後にユーザが自由に変更可能とする。なお式(4)のように定義することにより、問合せ領域における各探索条件は双方同時に満たすオブジェクトがないという性質を持つことになる。

- ・論理積 ($R_i \cap R_j$) における探索条件と表示方法：論理積による重ね合わせは、探索条件の絞込みとして表す。表示方法については、球の生成時に表示優

先順位を付けて、優先順序の早いほうの表示方法を適用する。なお、優先順位についてはユーザが自由に変更可能とする。つまり、 R_1 の方が R_2 より優先順位が高い場合、探索条件および表示条件は

$$(S_1 \ S_2, P_{S_1}), (\neg(S_1 \ S_2), P_{U_1}) \quad (5)$$

となる。

3. モジュール型可視化システムへの適用

可視化の手法は多種多様であり、ユーザは多くの可視化手法の中からデータの種別や可視化の目的にあわせて適切な手法を選択する必要がある。そのため、可視化支援システムはある用途に特化されたシステムとプログラマブルな汎用的システムに分けることができる。

我々は後者の汎用的な可視化支援システムへの適用を目的とし、モジュール型可視化システムへ適用させることとした。モジュール型可視化システムとは、データを可視化するために必要なデータ処理をモジュールという形で数多く用意しておき、ユーザがモジュールをつなぎ合わせて可視化処理のパイプラインを構築するシステムであり、AVS[4], Visualization Toolkit[5]などが商品化され広く普及している。我々は、このモジュール型可視化システムにおけるモデルおよびデータ構造をもとに問合せモデルを拡張し、Visualization Toolkit(以降 VTK と略す)を用いて実装を行った。モデルやデータ構造に関しては VTK を参考することとした。他のモジュール型可視化システムにおける表現と多少の違いは有るがここで述べている範囲に関しては大きな違いはなく標準的なものとして考えられる。以降、3.1 項にて可視化パイプラインというプログラムモデルを用いた問合せの記述方法について述べ、3.2 項にてデータ構造と探索条件について述べる。

3.1. 可視化パイプラインを用いた問合せの記述

可視化支援システムにおいてユーザがモジュールを接続して作成するパイプラインを可視化パイプラインと呼ぶ¹。我々はこの可視化パイプラインを用いて問合せの記述を行う。まず、可視化パイプラインについて例をあげながら説明する。図 3 は 2.1 節(図 1(a))に示したカエルのスライスデータを可視するためのパイプラインである(説明のため簡略化している)。パイプラインはもとのデータセットをいくつかの可視化のためのモジュールにかけ 3 次元空間に表示するまでのフローをあらわしたものである。この例のパイプラインでは、まずカエルのスライスデータを FileReader で読み込み、それを isosurface モジュールで皮膚と骨と 15 種類の内臓を抽出し、各々 decimate モジュールなど

で整形した後 3 次元空間で表示できる形に変換する。

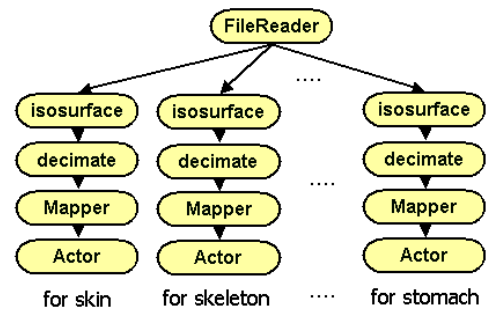


図 3: カエルのスライスデータ可視化のためのパイプライン

これに対して 2.1 項(図 1)で示したような「皮膚データを透明化する」という問合せを定義した問合せを適用させた場合に期待する可視化結果と、それに伴うパイプラインを図 4 に示す。

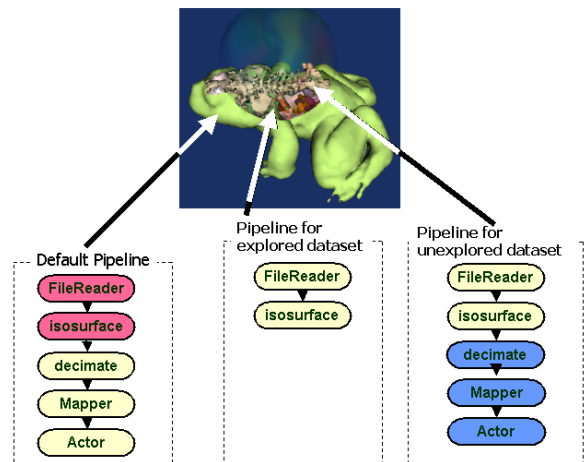


図 4: 問合せ領域の外部および内部のパイプライン

この場合、問合せ領域の外部は初期のパイプラインによって表示を行い、内部にあるデータセットを問合せ条件に合致するものとし、合致しないものに分離する。この例では皮膚のデータセットで問合せ領域内部にある部分は問合せに合致するため表示を行わないようにパイプラインを中断している。また、骨のデータセットは問合せに合致しないため初期のパイプラインと同様にデータ整形をした後 3 次元空間に表示する。

このように、問合せ領域を用いてデータセットを分離して選択的に表示を変えるために、我々は問合せ R をデータセットに対する問合せモジュールとして定義することとした。問合せモジュールを導入したパイプラインを図 5 に示す。

¹ システムによって呼び名は様々であるが、個々では VTK で用いられている名前を採用している。

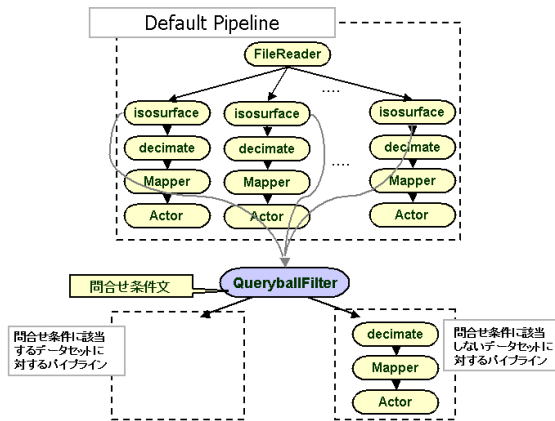


図 5：問合せモジュールを導入したパイプライン

ユーザは初期パイプラインを設計すると同時に、初期パイプラインを問合せモジュールに接続する。また、問合せモジュールに対して問合せ条件文と、その条件に該当する（あるいは該当しない）データセットに対する問合せモジュール後のパイプラインを定義する。これにより、図4に示したように問合せ領域内部での選択的表示が実現される。

3.2. データ構造と探索条件

可視化支援システムで扱うデータはボクセルデータやサーフェスデータ、四面体メッシュデータなど様々な構造があり、用途に合わせて使い分けられている。しかし、これら全てのデータ構造は、図6に示すようなデータセット・セル・点の構成で抽象的に表現することが可能である。

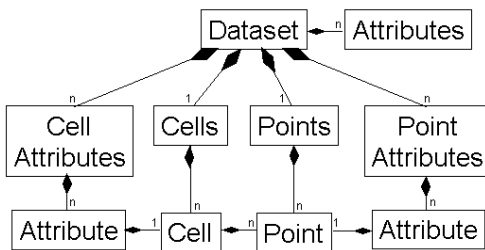


図 6 データセット、セル、点および属性の関係

データセットは格子データやポリゴンデータ、点集合など、あらゆる種類のデータ集合の抽象的な表現である。データセットは点とセルの集合を持ちトポロジ、ジオメトリを定義することによってその形状を決定する。3.1 項で述べた可視化パイプラインは、データセットを入出力として持ち、データセットの内容を変換させていくことによって最終的に 3 次元空間の構成要素となるまでの遷移の過程とも言える。セルはデータセットの構成要素であり点の集合によって定義される。データ属性は、データセットのトポロジやジオメトリに関する記述と、データセットに関する属性、セルに

関する属性、点に関する属性が付けられ、その属性にはスカラ、ベクトル、テンソル、テキストチャなどの値を持たせることができる。問合せモジュールにおける探索条件では、全てこの抽象的なデータ構造に基づいて記述を行う。

4. 実装

我々は本システムの構築にあたって一からシステムを実装するのではなく、既存の可視化システムを拡張する形で実装を行う。今回、我々は Kitware 社の Visualization Toolkit (VTK) を用いてシステムを構築した。VTK は可視化のためのオープンソースの C++ ライブラリであり、可視化処理のモジュールをクラスライブラリとして提供し、ユーザは C++ プログラムで可視化パイプラインを記述することによって可視化プログラムを容易に作成することができる。また、VTK は JAVA, Python, Tcl などの他言語への Wrapper を提供しており、これらの言語で記述することも可能である。

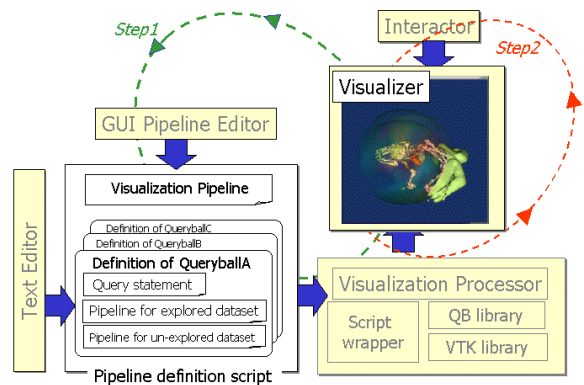


図 7：処理の流れ

図 7 は本システムにおける処理の流れを示している。

問合せは以下の 2 ステップで生成する

Step1：問合せモジュールのスキーマ定義

Step2：問合せモジュールのインスタンス生成

Step1 では初期パイプラインの記述の際に、初期パイプラインを記述した言語を用いて定義する。ここでは、3 次元空間で使用したい問合せの要素のうち、探索条件および表示条件を記述する。これにより予め利用する問合せのスキーマを作成しておき、Step2 にて 3 次元空間上に問合せ領域を指定することにより問合せモジュールのインスタンスを生成する。Step1 はテキストエディタまたは GUI のパイプラインエディタを用いた間接操作で定義および変更を行い、Step2 では 3 次元空間上での直接操作でインスタンスを生成し、問合せ領域の変更を行ったり重ねあわせを行ったりする。つまり直接操作と間接操作を平行して進めることにより、対話的な問合せを実現することができる。以下各

ステップにおける操作の詳細について述べる。

4.1. 問合せモジュールのスキーマ定義

問合せモジュールのスキーマ定義では、問合せに必要な要素のうち探索条件 S と表示条件 P_s, P_u を定義する。2.1 項で例にあげた「カエルの皮膚データのみを透明化する」問合せを用いた記述例を以下に示す。

```
class RemoveSkin (vtkQBPython.vtkQuery)
def SetQuery():
    query="dataset.attributes.name='Skin'"
    return

def ShowSelectData():
    return

def ShowRestData():
    restMapper=vtk.vtkPolyDataMapper()
    restMapper.SetInput(qb.GetDataSet())
    ra=vtk.vtkActor()
    ra.SetMapper(restMapper)
    ra.SetScale(1.01,1.01,1.01)
    ra.GetProperty().SetColor(qb.origator.GetProperty().GetColor())
    ra.VisibilityOn()
    qb.SetRestActor(ra);
    return
```

SetQuery が探索条件 S , ShowSelectData が探索条件に合致したデータセットの表示条件 P_s , ShowRestData が問合せに合致しないデータセットの表示条件 P_u である。また、初期パイプラインの途中から問合せモジュールに接続することによって、そこで出力されるデータセットを問合せの探索対象として指定することができる。

4.2. 問合せモジュールのインスタンス生成

3次元空間における直接的なインタラクションでは、なるべく複雑な操作をさげマウス操作を中心としたシンプルなインタラクションを心がけて実装を行った。問合せ領域は問合せモデルではどのような形状もサポート可能であるが、現時点では球と直方体をサポートしている。ここでは球体によるインスタンス生成について述べる。

インタフェースは基本的に以下の3種類に分類することができる。

- 1) 問合せモジュールの生成
- 2) 単体の問合せモジュールに対する操作
- 3) 複数の問合せモジュールに対する操作

以下、各操作を行う方法について述べる。

(1)生成

生成する問合せモジュールの種類をメニューにて選択した後、左マウスをクリックすると生成が開始される。そのまま押しつづけるとボールは大きくなりつづけて、マウスを離れた時点で生成が終了する(図8)。

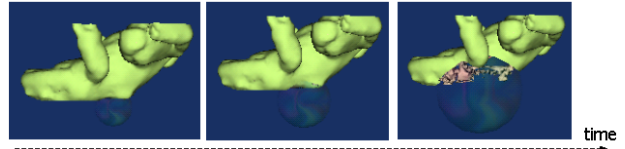


図8：問合せモジュールが生成される様子

(2)単体の問合せモジュールに対する操作

単体の問合せモジュールに対する操作として、以下の機能を提供した

(2-1)移動

マウス左ボタンを押しながらドラッグをするとマウスポインタについて移動する。また前後の動きに関しては、右ボタンを押しながら画面上方向にドラッグすると前方へ移動し、画面下方向にドラッグすると後方へ移動する(図9)

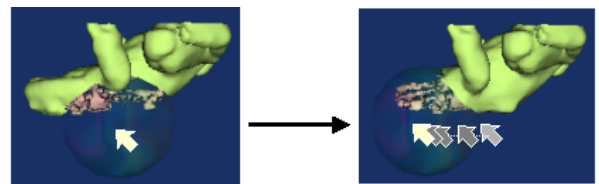


図9：問合せモジュール移動の様子

(2-2)膨張

マウス左ボタンを押すと膨張が開始し、マウスボタンを離すまで膨張する。

(2-3)収縮

マウス左ボタンを押すと収縮が開始し、マウスボタンを離すまで収縮する。

(2-4)消去

マウス左ボタンでクリックすると、クリックされた問合せモジュールは消去される。

なお、問合せモジュール以外の空間をドラッグすることで視点の移動を行う。マウス左ボタンのドラッグで前後左右、右ボタンの左右ドラッグで中心にあるオブジェクトに回り込むように回転、右ボタンの上下ドラッグで前進・後退をする。

(3)複数の問合せモジュールに対する操作

複数の問合せモジュールに対する操作として、以下の機能を提供した

(3-1)重ね合わせ

問合せモジュールの移動の結果、複数の問合せモジュールが重なり合った場合は、重なり合った部分の問合せを AND または OR で結合する。結合については 3.4 節の問合せモジュールマネージャにて詳しく述べる。ユーザの操作としては移動を行い問合せモジュール同士を重ね合わせるだけでよい。

(3-2)吸収

移動を行う際に予め「吸収モード」に設定しておく、問合せモジュール同士が重ね合わさったときに、移動している問合せモジュールがもう片方の問合せモジュールに吸収され、一つの問合せモジュールとなる。この際 2 つの問合せモジュールの問合せは重ねあわせと同様に AND または OR で結合される。

(3-3)分離

(3-2)の吸収モードで 1 つになった問合せモジュールを再び分離することができる。ユーザの操作としては、分離モードにした後に問合せモジュールを移動すると、その時点で分離が行われ、分離された片方の問合せモジュールだけがマウスポインタについて移動することになる。この際マウスポインタについて移動する問合せモジュールは、(3-2)の操作の際に吸収された側の問合せモジュールでなる。

5. 関連研究

可視化の分野における問合せ操作は重要である。ここで述べる問合せとは、データセット全体のうちで条件を満たす部分領域のみ他の可視化手法を適用したり、可視化手法のパラメタを調整するために用いられるものとする。これは選択的精密化 (Selective Refinement) とも呼ばれる。リアルタイム性を高めるためにユーザの注目度に合わせて複数の詳細度を適用する LOD(Level of Detail)や3次元ボリュームデータから興味のある領域のみを表示する VOI(Volume of Interest) , ある平面で切り取る Clipping など多くの手法が用いられている [6][7] .本モデルはこれらの技術を問合せという概念で一般化したものと捕らえることができ、適切な表示条件を定義することで表現可能である。また、本モデルは3次元空間での対話性の高さを重視し、問合せを3次元空間のある領域に対して定義し、半透明な物体として直接的に変更させることを可能にしている。半透明な物体を用いた直接操作は文献 [8] の Magic Lenses を先駆けとし、3次元空間での有用なインタラクションとして様々な手法が提案されている [9] .本モデル

ルではさらに領域同士の重ねあわせを取り入れ複雑な表現を可能にしているところに特徴があるといえる。

6. まとめと今後の課題

我々は 3 次元空間における直接対話を中心とした問合せモデルを提案しており、本稿にてこの問合せモデルを可視化パイプラインを用いたモジュール型可視化システムに適用した。また VTK という可視化ライブラリを用いてシステムの実装を行った。本システムは既存の可視化支援システムに容易に組み込める形で定義を行っているため、今回用いた VTK 以外でも適用可能であり、適用範囲は広い。

今後の課題としては、まずインタラクションのリアルタイム性を保つための工夫を考慮する必要がある。今回はモデル定義とシステムへの導入を中心に実装を行ったため、これに関しては対応していないが必ず必要となる機能である。また、現段階では問合せモジュールのスキーマ定義の際にスクリプトでの記述を行っているが、ユーザがより楽に記述を行うための GUI ツールの作成なども検討している。

文 献

- [1] P. Cignoni, E. Puppo, R. Scopigno: Representation and Visualization of Terrain Surfaces at Variable Resolution, The Visual Computer, 13(5), pp.199-217(1997).
- [2] D. A. Keim: Information Visualization and Visual Data Mining, Transaction on Visualization and Computer Graphics, Vol.7, No.1,pp.100-107(2002)
- [3] 渡辺知恵美, 増永良文, 城和貴: Queryball: VR システムのための対話的な問合せモデル, 日本データベース学会 Letters, Vol.2, No.2, pp.25-28 (2003)
- [4] Advanced Visualization System: <http://www.avis.com/>
- [5] W. Schroeder, K. Martin, B. Lorenson: The Visualization Toolkit – An Object-Oriented Approach to 3D Graphics -,Prentice Hall PTR, 645p.
- [6] L. De. Floriani and P.Magillo: Multiresolution Meshes, Principles of multiresolution in Geometric Modeling—PRIMUS Summer School, Munich(2001).
- [7] P. Cignoni, L.D. Floriani, P.Magillo, E. Puppo, R. Scopigno: Selective Refinement Queries for Volume Visualization of Unstructured Tetrahedral Meshes, Transaction of Visualization and Computer Graphics, Vol.10, No.1(2004).
- [8] J. Viegas, M.J. Conway, G. Williams and R. Pausch: 3D Magic Lenses, Proceedings of UIST'96,pp51-58 (1996).
- [9] L. Chittaro and I. Scagnetto: Semitransparency Useful for Navigating Visual Environments?, Proceedings of VRST01,pp.159-166(2001)