

GADGET/IV : 情報可視化の半自動設計支援環境

- 目的指向分類の考察とシステムアーキテクチャの基本設計 -

古畑 理香[†] 藤代 一成[‡] 市川 哲彦[‡] 竹島 由里子[†]

[†]お茶の水女子大学大学院人間文化研究科

[‡]お茶の水女子大学理学部情報科学科

〒112-8610 東京都文京区大塚 2-1-1

E-mail: rika2@imv.is.ocha.ac.jp, fuji@is.ocha.ac.jp, ichikawa@is.ocha.ac.jp, yuriko@imv.is.ocha.ac.jp

概要

計算機能力の向上から、大量のデータを描画することでそのデータに潜む隠れた傾向を見いだすことが可能になり、知識や洞察を深める新たな手段を提供している。データのより有効な利用のために、さまざまな可視化技法が提案されているが、ユーザの多くは可視化の専門家でないため、適切な可視化の生成が困難な場合が多い。そこで本研究は、可視化の専門家の知識を体系立てることで、ユーザのニーズに合わせた可視化の生成を支援するシステムの構築を目指す。

先行研究である GADGET システムは、科学技術分野における可視化支援を実現したもので、可視化目的を **action** と **target** とよばれる簡単な単語の対で表現している。今回提案する GADGET/IV システムは、GADGET のアプローチを一般の情報可視化にも適用することを目標としている。本稿では具体的な事例を用いて目的指向分類に対する考察とシステムアーキテクチャの基本設計を行う。

GADGET/IV : A Supporting System for Information Visualization Using Modular Visualization Environments

- Consideration on goal-oriented taxonomy toward fundamental design -

Rika Furuhashi[†] Issei Fujishiro[‡] Yoshihiko Ichikawa[‡] Yuriko Takeshima[†]

[†] Graduate School of Humanities and Sciences, Ochanomizu University

[‡] Department of Information Sciences, Faculty of Science, Ochanomizu University
2-1-1 Otsuka, Bunkyo-ku, Tokyo 112-8610, JAPAN

ABSTRACT

The recent progress in computer performance has enabled us to visualize large amount of data interactively. Many new techniques, which enhance the user's understanding of and insight into data, have been developed, and thus formed a new field of research, termed information visualization. Since typical users of visualization systems usually lack the expertise in visualization, it is still a tough task for them to generate efficient and effective visualizations that allow them to comprehend the information in the data.

Therefore, systems navigating the user to appropriate visualizations are of great importance now. The authors' preceding study, GADGET, supports semi-automatic design of scientific visualizations using modular visualization environments which are the *de facto* standard of such software. GADGET interactively helps the user design visualizations, by presenting appropriate techniques, algorithms and examples according to the specification of the visualization goals. We are planning to extend this approach, so that a new generation of the system named "GADGET/IV" can support the user visualizing information as well as scientific data.

This report describes the visualization support approach taken in the GADGET, and shows the preliminary design of the GADGET/IV.

1 はじめに

近年の計算機的能力向上に伴い、グラフィックスの高速描画やリアルタイム対話が低コストの計算機でも可能になっている。このことは、大量のデータに関する知識を深めるために、データの可視化結果を利用する方法論を有効なものにしている。最近の多様なデータ資源へのアクセス需要の高まりもあり、情報可視化 (Information Visualization) は重要な研究トピックの一つになっている [6, 1, 2]。

一般に、情報可視化には 2 つの目的がある [5]。一つは、既にもっているアイデアの伝達に可視化を用いることであり、もう一つは、グラフィカルな手法を用いることにより、新たなアイデアを発見し、情報の理解を深めることである。本研究では後者の目的で用いる場合の情報可視化に注目している。このような方法論が利用される背景には、人間が優れた視覚処理能力を有し、文字による情報表現よりも、図表によるものの方が理解しやすいという事実がある。

この手法は科学技術データの利用において既に研究が進められており、一つの分野を形成している。また、モジュールに基づく可視化環境 (Modular Visualization Environment, 以下 MVE) が事実上の標準ソフトウェアとして普及している。情報可視化を科学技術データの一般化であると考えれば、MVE は情報可視化においても有用であると考えられる。

同時にこのことは、従来の科学技術データの可視化分野において存在した問題点が情報可視化においても存在することを示唆している。可視化環境の主なユーザである科学者や工学者は、あくまで各々の分野の専門家であり、可視化技術の専門家ではない。そのため、ユーザが可視化環境の機能を十分に使いこなすことができず、データに対して適切な可視化を行えなかったり、より適切な可視化技法を看過してしまうということにつながる。

筆者らが従来より研究・開発を進めてきた GADGET システム [7]¹ は、科学技術データの可視化におけるこのような問題点の解決を目的としており、MVE の一つである AVS のユーザ支援を、Wehrend による可視化技法の目的指向分類 [11] を用いて行った。このアプローチは、情報可視化にも適用可能と考えられる。GADGET で用いている目的指向分類を一般データの可視化にも適用することから、我々はこの後継システムを GADGET/IV とよび、その設計と実現に向けての研究に着手したところである。現在は、アーキテクチャならびに分類技法の検討を行っている。

GADGET が機能する背景には、可視化に関する専門家の知識が可視化の目的指向分類に従って体系化されているという点と、AVS での可視化技法の実現と利用事例の豊富な蓄積があるという点がある。すなわち、可視化技法データベースに対して検索体系を与えているのである。次節で述べる通り、ユーザがその可視化目的の記述をキーとして GADGET に与えると、適切な可視化技法と実装が利用者に提示される。同様な考え方を情報可視化に適用するためには、情報可視化における可視化目的の記述体系と、事例の蓄積が必要となる。また、AVS

のような汎用可視化環境における情報可視化機能の実現という点も重要である。実際、提示された結果がユーザの意図にあうかどうかは、試行錯誤の過程によって得られるものだからである。

このようなシステム検討の一環として、筆者らの先行研究 [3] では、学内 LAN データの可視化に領域を限定し、システムの設計と実装による事例の蓄積と、可視化分類技法構築のための考察を行った。このシステムは一般ユーザでもネットワーク状態がある程度把握できるようにすることを目的とし、ユーザタスクに応じた適切な可視化利用を促すように設計されている。また、タスクと基本的な可視化構成との関わりを分析することで、技法検索と可視化の自動生成への指針を示して、情報可視化支援システム構築のための考察を行っている。しかしながら、可視化は VisualBasic と可視化ライブラリ VizIT を使って作成されているので、ユーザが簡単に修正を施せるような環境にはなっていない。GADGET/IV では MVE の一つである AVS/Express を利用することで、汎用性を維持する方針である。

次節では先行研究である GADGET 及び、GADGET が用いている Wehrend 分類について述べる。第 3 節では GADGET/IV のアーキテクチャの基本設計に向けて情報可視化の分類法について説明し、最後にまとめと今後の課題を述べる。

2 GADGET[7]

MVE では、可視化の操作を構成する基本処理単位であるモジュールを繋ぎ併せることで可視化ネットワークを構成し、データ処理をプログラミングする。このように、可視化プロセスがモジュールという要素に分割されていることは、モジュールの汎用性が高くなることを意味し、モジュールを組み合わせることでよりユーザ独自の可視化アプリケーションを構築することが可能になる。また、ユーザの構築したモジュールをシステムの既存のモジュール群に組み込むことで共通のリソースとして後のアプリケーションでの再利用が可能になる。このような拡張性や可搬性が、MVE が広く用いられる理由の一つである。

しかし、MVE の主なユーザである科学者や工学者は、可視化の専門家とは限らないため、提供されている機能を十分に使いこなしていない場合が多い。このようなユーザに可視化の専門家の知識を利用して、半自動的な可視化アプリケーション構築を可能にしたシステムが GADGET である。GADGET では、可視化に要求される知識を表現するために Wehrend [11] による可視化技法の目的指向分類を用いている。この分類法は、可視化事例を収集した文献 [9] においても利用されている。GADGET は、Wehrend 分類の語彙を拡張し、また AVS を用いた可視化事例を知識ベースとしてもつことにより、可視化の目的に合わせて適切な技法を提示し、半自動的な可視化アプリケーションの構築を可能にしている。

¹Goal-oriented Application Design Guidance for module visualization EnvironmentTs.

2.1 Wehrend 分類 [11]

科学技術データの可視化における Wehrend の分類法では、与えられたデータセットからユーザが何を抽出したいかという可視化目的 (goal) から、目的を満たす適切な技法が決定できると仮定している。GADGET システムでは、ユーザが対話的に入力した可視化目的を満たす技法を決定するために、この分類知識を利用する。

Wehrend のアプローチでは、可視化目的は、どのような可視化を行うかを表す **action** と、オブジェクトの性質を表す **target** とよばれる簡単な単語の対によって表現される。文献 [9] では、**action** の集合 A と **target** の集合 D として、次のような要素を用いている。

$$A = \begin{cases} \text{"Identify"} \\ \text{"Locate"} \\ \text{"Distinguish"} \\ \text{"Categorize"} \\ \text{"Cluster"} \\ \text{"Rank"} \\ \text{"Compare"} \\ \text{"Associate"} \\ \text{"Correlate"} \end{cases} \quad D = \begin{cases} \text{"Scalar"} \\ \text{"Nominal"} \\ \text{"Direction"} \\ \text{"Shape"} \\ \text{"Position"} \\ \text{"SERO"}^2 \\ \text{"Structure"} \end{cases}$$

可視化目的はこれらの組み合わせとして、"Identify Direction" のように特定される。

"Distinguish", "Compare", "Associate", "Correlate" のようないくつかの **action** は一つ以上の **target** をとることができるので、可視化目的 P は一般に次のように定義できる：

$$P \subset A \times 2^D. \quad (1)$$

可視化目的に加えて、可視化技法決定のための重要な基準として、データ次元 (独立変数の個数) のような、対象とするデータセットの特性も使用することができる。したがって、可視化目的と対象とするデータの次元の対によって、より適応的な可視化技法を選択することができる。特に、対象とするデータの次元の集合を $\mathcal{O}$ 、可視化技法の集合を $\mathcal{T}$ とすると、可視化技法分類の集合関数 K_T は：

$$K_T : (P \times \mathcal{O}) \mapsto 2^T \quad (2)$$

となる。例えば、 $K_T(\text{"Identify"}, \text{"Direction"}, 3)$ から "3D hedgehogs", "3D glyphs" のような可視化技法が得られる。

Wehrend マトリックスの拡張として、適切な MVE モジュールネットワークを選択することが考えられる。一般に、それぞれの可視化技法に対して、一つ以上のアルゴリズムが知られている。アルゴリズムは与えられたデータセットの構造によって異なるため、モジュールネットワークを選択する集合関数 K_N は次のようになる：

$$K_N : (\mathcal{T} \times \mathcal{C}) \mapsto 2^{\mathcal{G}(\mathcal{M})}. \quad (3)$$

ここで、 $\mathcal{C}$ はデータ格子構造の集合であり、要素として "regular", "rectilinear", "curvilinear", "unstructured", "general" をもつ。 $\mathcal{M}$ は MVE によって提供されるモ

ジュールの集合、 $\mathcal{G}(\mathcal{M})$ は $\mathcal{M}$ を頂点とする有向グラフとして表現されるビジュアリゼーションネットワークの集合である。 K_N の定式化が可能であるということが MVE の特長の一つであり、可視化の専門家の知識を利用することを容易にしている。

2.2 アプリケーション設計の流れ

図 1 に、GADGET システムのアプリケーション設計支援の主な流れを示す。ユーザインタラクションが発生する状態を矩形で、また可視化システムとのインタラクションが発生する状態を角の丸められた矩形でそれぞれ表現している。GADGET システムは大きく分けて、可視化目的の特定、適切な技法やアルゴリズムの提供、可視化例のブラウジングのサポートの 3 つの部分から構成される。

可視化技法とアルゴリズムは、可視化目的や対象とするデータセットの特性によって分類されるものと仮定する。これらを分類することによって、技法が整理され、MVE ビジュアリゼーションモジュールネットワークを効率的に選択することが可能となる。

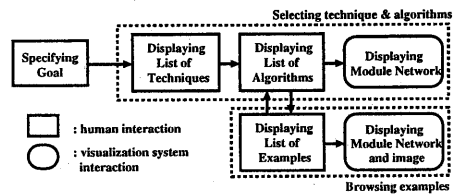


図 1: GADGET アプリケーション設計の主な流れ

- Step 1: 可視化目的の特定
まずはじめに、ユーザは、2.1 節で述べた **action** と **target** のインデックスを指定することにより、可視化目的を特定する。
- Step 2: 可視化技法リストの表示
Step1 で特定された可視化目的を満たす可視化技法のリストを返す。このとき、可視化技法は経験的に得られた効率によってソートされている。
- Step 3: アルゴリズムリストの表示
ユーザが選択した可視化技法と、対象とするデータセットの構造 (メッシュタイプ) から、適用可能な可視化アルゴリズムのリストを返す。このとき、空間効率と精度のいずれを重視するかによって、ユーザ自身が可視化アルゴリズムリストを再ソートすることができる。
- Step 4: モジュールネットワークの表示
Step3 で示された可視化アルゴリズムは、それぞれ、GADGET システムが推奨する MVE モジュールネットワークと関連付けられている。GADTET システムが推奨するモジュールネットワークは、マッピングアルゴリズムを実現する基本的なモジュールと、データ入力、フィルタリング、リサイジング、レンダリング、画像表示のようなプレ/ポスト処理を

²Spatially Extended Region or Object の略

サポートするモジュールからなる。それゆえ、ユーザは独自のデータセットをネットワークに適用することによって、目的の可視化を実現することが可能である。また、MVE に一度ロードされたネットワークは、ユーザが自由に修正することができる。

- Step 5: 実行例リストの表示
各アルゴリズムは、推奨するモジュールネットワークに加えて、具体的な実行例をもつネットワークにも関連付けられている。
- Step 6: モジュールネットワークと画像の表示
ユーザが要求すれば、具体的なサンプルデータセットを読み込んだモジュールネットワークが自動的に実行され、結果の画像が表示される。このような具体例をブラウジングすることによって、推奨するネットワークをカスタマイズするための知識を、ユーザが経験的に得ることができると考えられる。

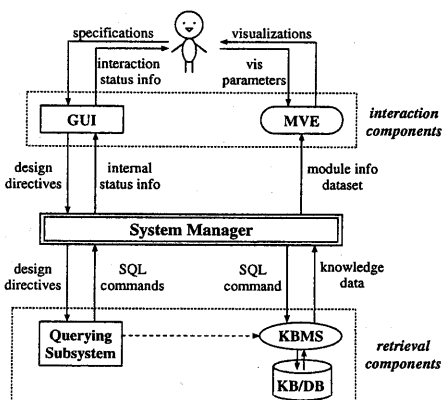


図 2: GADGET アーキテクチャとデータフロー

GADGET システムは、図 2 に示したように、MVE、GUI、知識ベースシステム、問い合わせサブシステム (query subsystem)、システムマネージャから構成される。システムマネージャは、知識ベースで得た結果を GUI に表示したり、MVE にモジュールネットワークを転送するというような、システムの遷移を制御するカーネルである。知識ベースシステムには、ある状態から別の状態へ遷移するために問い合わせサブシステムから要求が出される。GUI と MVE は、ユーザがアクセス可能なインターフェースである。GUI は、設計要求仕様を対応する設計命令に翻訳し、それをシステムマネージャに渡す。さらに、設計命令は問い合わせサブシステムから、SQL コマンドとして知識ベースシステムに渡される。知識ベースシステムから返された文字情報が、ユーザに GUI を通じて返され、モジュール情報やデータセットなどが MVE に渡される。そして、得られたモジュールネットワークやその特性をユーザは自由に修正することができる。

2.3 可視化例

可視化目的として、3 次元曲線格子ボリュームデータの形状を特定することを考える。

まずはじめに、可視化目的を特定する (Step1)。この例では、**action** と **target** のそれぞれに、“Identify” と “Shape” を選択する (図 3(a))。

入力された可視化目的を満たす適切な技法の集合が知識ベースを検索することで得られ、技法リストウィンドウに示される (Step2)。この場合、Solid fitting, Surface fitting, Direct volume rendering が経験的な効率に基づいて、この順で返される。

そして、Solid fitting を選択し、同じウィンドウのデータのメッシュタイプを特定することによって、次のウィンドウに関連するアルゴリズムのリストが示される (Step3)。ここで、ユーザが time または accuracy ボタンを押すことで、示されたアルゴリズムリストが再ソートされる。

ユーザが Example ボタンを押したならば、あらかじめ用意されたサンプルデータを選択し (Step5)、対応する MVE ネットワークに適用することによって、結果の画像が自動的に表示される (Step6)。一方、ユーザが ReadModule ボタンを押したならば、対応する MVE ネットワークが MVE ウィンドウにロードされ、ユーザは、独自のデータをネットワークに読み込むことができる (Step4)。結果が望ましくないときは、ユーザはモジュールネットワークを自由に変更することができる。図 3(c) は、図 3(b) に示したモジュールネットワークを用いて、UNCCH の HIPIP データから等電荷密度区間型ボリュームを抽出した例である。

3 GADGET/IV

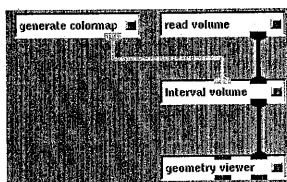
GADGET/IV は、GADGET の目的指向のアプローチを一般の情報可視化に適用することを目指している。可視化技術を目的指向分類に基づいて特定する場合に、科学技術データと一般の情報を扱うのとで大きく異なるのは、座標軸の選択とグラフィカルオブジェクトへのマッピングの自由度の高さ、対話的操作の重要性である。したがって、Card および Shneiderman らによって提案された情報可視化分類方法を取り入れ、より適切にユーザの可視化目的を記述できるようにすることを検討している。そこで本節では、まず可視化技法分類について概略を述べ、Wehrend 分類とどのような差異があるのかを明らかにする。

GADGET の一つの特徴として、MVE ですぐに利用可能なアルゴリズムの実現や可視化例をユーザに提供するという側面がある。このような特徴を GADGET/IV で引き継ぐためには、汎用の MVE を用いた情報可視化のための環境の整備が必須である。そこで、次に具体例として Web のアクセス履歴の可視化を示す。本事例は、AVS/EXPRESS のデータベースアクセスライブラリの機能を用いたもので、情報可視化としては未完成であるが、汎用 MVE を用いたときの情報可視化の手順を端的に示すものである。

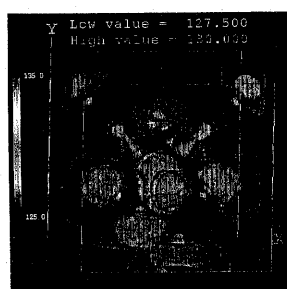
最後に、情報可視化のレファレンスモデルを用いて MVE と DBMS の機能的統合の可能性を検討し、GADGET/IV の基盤となる利用者環境の設計方針を示す。



(a) 可視化目的の特定 (Step1)



(b) 推奨モジュールネットワーク (Step4)



(c) 生成された画像例 (Step6)

図 3: 可視化目的に到達するためのステップ

3.1 情報可視化技法の分類

初めに Shneiderman 分類と Card 分類の特徴を簡単に述べ、次に先に述べた Wehrend 分類も取上げ、この 3 つの分類法の関連を考察する。

- **Shneiderman 分類 [10]**

Shneiderman 分類では、7 種類のデータタイプと 7 種類のタスクを用いて分類が行われている (Task by Type Taxonomy: TTT)。データタイプは、タスクドメインの情報を特徴づけるのに用いられ、1 次元データ、2 次元データ、3 次元データ、時間データ、多次元データ、木データ、ネットワークデータに分けられる。タスクは、タスクドメインの情報に対してユーザーが行う操作で、overview, zoom, filter, details-on-demand, relate, history, extract の 7 種類から成る。

- **Card 分類 [4]**

TTT は、「何を達成したいのか」という可視化の意図を比較的に明確に表す分類となっているが、個別のデータ項目の属性がどのように可視化されるのかは示していない。逆に Card 分類では、変数の概念が前面に現れており、各変数が視覚的オブジェクトのどのような属性として表現されるかによって特徴づけを行っている。

Wehrend 分類では、task と action の単語の対によって可視化技法が特定され可視化が得られる。この可視

化に対し、様々な表示方法を行う技法を提供するのが Shneiderman 分類の overview, zoom, filter, details-on-demand のタスクである。Card 分類は、ビジュアル化の語彙が整備されており、システム側からユーザーへの説明や、ユーザー同士のコミュニケーションに有効である。しかし、可視化の目的から可視化を半自動的に生成するための分類はなされていない。この 3 つの分類法を組み合わせることで、情報の可視化に向けての分類法の体系化を図りたいと考えている。

3.2 Web のアクセス履歴の可視化

HTTP サーバのログファイルには膨大な量のアクセス履歴が蓄積されており、ファイルの内容を見ただけではその傾向をつかむのは困難である。この情報に関する複数の可視化技法を提供することは、アクセス状況の理解の支援に結び付くと考えられる。

Web サイトの情報を可視化するシステムとしては、2 次元空間上に Web のアクセス履歴の情報をマッピングし、ウィジェットを用いて必要な可視化することで、新たな傾向の発見へ結び付けてるシステム [8] や、ある組織のサイト情報をノードとエッジを用いたグラフ構造で可視化し、そのサイトに関するリンクの傾向を視覚的につかむことを可能にした NicheWorks システム [12] などがある。これらのシステムはいずれも体系立った可視化技法は用いておらず、ビューの上での直接操作及び、ウィジェットの操作を通して必要な情報の可視化を行っている。

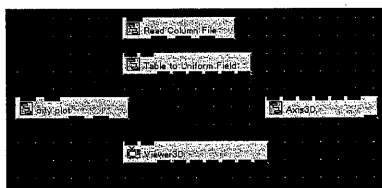
ここでは実際のアクセス履歴から図 4(a) に示すモジュールネットワークを作成し、情報の可視化を行った。ネットワーク中のモジュールは、読み込んだデータの形式化、マッピング法の指定、マッピング空間の指定、ビューから成っている。マッピング法としては cityplot が選択され、3D のマッピング空間が指定されている。このネットワークモジュールにデータを流して可視化した結果が図 4(b) である。

これは、研究室の 3 日間のアクセス履歴をもとに、x 軸、y 軸、z 軸にそれぞれ、タイムスタンプ、URL、及び URL に対するアクセス数を選択して可視化したものである。

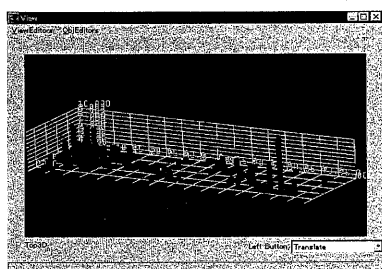
3.3 システムの構成

図 5 に、情報可視化におけるシステムの構成を示す。中央部のレファレンスモデル ([5], 第 1 章) によって、左側の MVE と右側の DBMS が関連づけられている。入力データを視覚構造にマッピングする際に、可視化システムの GUI からユーザーの可視化目的を受取り、DB アクセスモジュールを通して DBMS に適切なマッピングを特定するための問合せを発行する。ここで特定された可視化技法をもとに、ビューにマッピングされる。与えられた可視化の中で目的の表示を得るための技法を提供するのが Shneiderman 分類における overview, zoom, filter, details-on-demand のタスクである。

この可視化が機能するためには、ユーザーと対話的に可視化技法を特定できるようにする必要がある。我々は、このステップに Wehrend 分類を適用することが可能で



(a) 可視化のためのモジュールネットワーク



(b) アクセス履歴をグラフ表示した結果

図 4: Web のアクセス履歴の可視化

あると考えている。このことは、GADGET のアプローチをそのまま利用できることを意味している。

Card 分類の整備された語彙は、視覚構造の定義の際に有効であると考えられるが目的から可視化を生成する分類はなされていないため、現段階のこのシステム構築では考慮に入れないことにする。

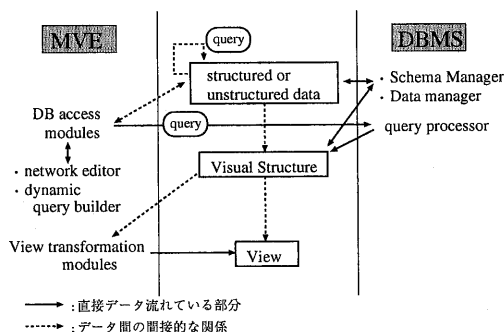


図 5: システムの構成

4 まとめ

GADGET は、科学技術データの可視化技法を目的指向分類に従い特定することでユーザ支援を行っている。GADGET/IV は、このアプローチを情報の可視化技法の特定に適用することを目指としている。

システムの実現に向け、本稿では Wehrend, Card, Shneiderman らの情報可視化技法分類の関係について考察し、GADGET/IV のシステム設計の基本方針について述べた。

今後は、システム実装に向けての具体的なアーキテクチャの提示及び、分類法の体系化を図る予定である。

文献 [2, 1] でも述べられているように、どのようなグラフィカル特性を用いるかによって得られる情報も変わってくる。現段階では、グラフィカル特性の指定はユーザが選択して与えるものとしているが、データに対する適切なグラフィカル特性の選択を支援する必要があると思われる。より適切なマッピング方法のための情報可視化技法の選択に向けて、事例の蓄積を行っていきたいと考えている。

参考文献

- [1] 藤代一成. サイエントフィックビジュアライゼーションからインフォメーションビジュアライゼーションへ. (招待講演), 第 28 回 3D 画像コンファレンス '97 論文集, July 1997.
- [2] 磯部成二, 他. 視覚化による多次元データ分析システム: INFOVISER. 情報処理学会論文誌, 40(5):2417-2428, May 1999.
- [3] 稲本実保子, 市川哲彦, 藤代一成. 学内 LAN データの視覚化とナビゲーションによる利用者支援: 情報可視化支援システム構築に向けて. 第 10 回データ工学ワークショップ (DEWS'99), May 1999.
- [4] S. K. Card and J. Mackinlay. The structure of the information visualization design space. In *Proc. IEEE Information Visualization '97 Symposium*, pp. 92-99, October 1997.
- [5] S. K. Card, J. D. Mackinlay, and B. Shneiderman. *Readings in information visualization: using vision to think*. Morgan Kaufmann Publishers, 1998.
- [6] T. Catarci and I. F. Cruz, eds. Special section on information visualization. *ACM SIGMOD RECORD*, 25(4), December 1996.
- [7] I. Fujishiro, et al. GADGET: Goal-oriented application design guidance for modular visualization environments. In *Proc. IEEE Visualization '97*, pp. 245-252, October 1997.
- [8] H. Hochheiser and B. Shneiderman. Understanding patterns of user visits to Web sites: Interactive starfield visualizations of WWW log data. Technical report, Human-Computer Interaction Lab, Department of Computer Science, University of Maryland, March 1999.
- [9] P. R. Keller and M. M. Keller, eds. *Visual Cues - Practical Data Visualization*. IEEE Computer Society Press, 1992.
- [10] B. Shneiderman. *Designing the user interface Strategies for effective human-computer interaction*, 3rd ed. Addison-Wesley, 1998.
- [11] S. Wehrend and C. Lewis. A problem-oriented classification of visualization techniques. In *Proc. IEEE Visualization '90*, pp. 139-143, October 1990.
- [12] G. J. Wills. Nicheworks - interactive visualization of very large graphs. In *Graph Drawing '97 Conference*, 1997.