

統合型情報可視化環境の設計に向けて

市川 哲彦

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

電話: 03-5978-5708, Fax: 03-5978-5704

E-mail: ichikawa@is.ocha.ac.jp

概要新しい情報アクセスと検索の手法として、情報可視化システムの研究が1990年代に入ってから盛んになっている。本論文では、これまでに行われてきた研究を概観すると共に、筆者らがこれまでに行ってきました、MWMD, LAN トライフィックの可視化, GADGET/IV を振り返り、情報可視化とデータベース検索の双方の機能を統合したどのような環境を提供すれば良いのかを論ずる。

キーワード: 情報可視化, データベース, 情報検索, 統合型可視化環境, 視覚的問合せ言語

Toward an integrated information visualization environment

Yoshihiko Ichikawa

Department of Information Sciences, Ochanomizu University

2-1-1 Otsuka, Bunkyo-ku, Tokyo 112-8610

Phone: 03-5978-5708, Fax: 03-5978-5704

E-mail: ichikawa@is.ocha.ac.jp ichikawa@is.ocha.ac.jp

Abstract Information visualization is one of the major research fields of the 1990's, and has been considered to be an advanced method of information access and retrieval. This report aims at reviewing the major research in the field, and identifying the components of a visualization environment which integrates database querying and information visualization. Besides, the report reviews the author's previous attempt in the related fields, and addresses the future plan of our system.

Keywords: information visualization, database, information retrieval, integrated visualization environment, visual query language.

1 はじめに

1990年代に入り、科学技術データへの洞察を速やかに得る方法として可視化(visualization)が研究され、数々の可視化アルゴリズムに加え、それらを容易に使うためのモジュール型可視化システムの開発が行われるようになった。一方、インターネットによってもたらされた情報資源の拡大は、情報の洪水と呼ばれる状況をもたらし、多種多様な情報資源のなかから適切な情報を速やかに取得する方法が必要不可欠となっている。さらに大学や企業の運営においても別個に管理されているリソースを統合利用するインターネットが普及し、ここでもやはり同様の方法が必要となっている。このことから、先に述べた科学技術データの可視化技術をより抽象度の高い一般の情報の取得に用いる情報可視化(information visualization)が最近の重要な研究トピックの一つとなっている[1, 2]。

本報告は、筆者らが情報の可視化と利用に関するこれまでの研究の位置づけを見直し、また個別に行われてきた要素技術と事例研究に基づいて情報可視化のための統合的な環境の初期設計を論ずることを目的としている。具体的には、視覚的な問合せ環境の提供[3, 4], LANトラフィックデータの可視化[5], 事例の蓄積による情報可視化の半自動設計[6, 7]の3つが検討対象である。

次節ではまずこれまでの代表的な研究の概略を述べる¹。これは、単に関連研究を列挙するだけではなく、問合せ機能も含んだ情報可視化環境を構成する上で要求される機能を明らかにすることを目的としている。また、データベースシステムと情報可視化システムとの連携を考える上で重要な、overviewとスキーマとの関係については第3節で別途議論する。また、ブラウズと問合せの関係については第4節で議論する。これらの議論を踏まえて、第5節では要求される機能等を列挙し、第6節でこれまでに行った筆者らの研究の概略を説明する。第7節では、今後の研究方針について述べる。

¹日本国内でも活発な活動が行われており、また、UI分野だけではなくデータベースシステムや情報検索など多岐にわたっているが、紙面の都合で割愛させて頂く。

2 代表的な情報可視化研究

2.1 Information Visualizer

情報可視化の先駆的な研究はCardらによるInformation Visualizer[8]である。このシステムは情報検索(information retrieval, IR)のユーザインターフェース(user interface, UI)を提供するもので、3次元仮想空間(3D/Roof)をワークスペースとし、そこに、自律的なエージェントである応用システムと、情報の組織化と抽象化を与える情報可視化とを配置している。システム全体は思考co-processorアーキテクチャに基づいて設計され、タスクキューをアニメーションループに従って処理することによって、エージェント毎の連携が図られる。また、このアーキテクチャはアニメーションの表示時間を制御する機能も持つておらず、対話操作に対するフィードバック速度を一定に保つことで、アニメーション効果が有効に作用するように配慮されている。具体的な情報可視化には、Cone Tree/Cam Tree[9], Perspective Wall[10]などがある。

システムの目的は情報処理であるが、主眼はUIの部分に置かれており、以降のこのグループの研究は、可視化メタファの開発(Table Lens, Document Lens, WebBookなど)と視覚的な情報理解プロセス(visual sensemaking)の形式化へと向かっている。また、ジェスチャ言語の利用などの研究も試みられている。

2.2 Dynamic queries

B. Shneidermanが率いるメリーランド大学のHCIL(Human Computer Interaction Laboratory)は、動的問合せ(dynamic queries, DQ)の概念を確立した[11]。DQの対象となるデータセットは生データではなく、ある程度の集約と抽象化がなされている。このようなデータセットを、散布図(scatter plot)等を用いて全体がある程度見渡せる形で表示し、スライダーなどの操作を通じた視覚的なフィードバックを連続的に示すことで問合せが行われる。連続性の指標としては.1s以下の反応遅延が基準として用いられている。応用システムとしては、不動産物件データを扱うHomeFinder、映画データを扱うFilmFinderなどがある。商品化されたものがSpotFire²である。他にも、条件記述能力を向上させるためのfilter/flowメタファや、.1s以下の反応遅延を実現するためのデータ構造に関する研究がなされて

²<http://www.ivee.com>を参照。

いる。

2.3 Query previews

やはり HCIL で行われている研究に問合せプレビュー (query preview, QP) がある。上述の通り DQ では .ls の反応速度を維持しなくてはならないが、データベース (database, DB) がネットワークで結合された複数のホスト上にある場合この反応速度を保証することは非常に難しい。この問題を解決するために考えられたのが QP である [12]。基本的な考え方は、問合せのヒット数のみを利用者に示し、DQ が使える程度にデータ数を絞り込んだ後にデータのダウンロードをするというものである。また同時に、フォームベースのインタフェースに顕著なゼロヒット／メガヒット問題の解決も目的としている。プロトタイプとしては Restaurant Finder が、事例研究として NASA の地球情報データベースの EOSDIS への適用が報告されている。

2.3.1 情報可視化システムの参照モデル

Card や Schneiderman らによる情報可視化の参照モデル [13] では、データベースシステム等の情報ソースへのアクセスは、可視化の最初の段階 (データ抽象化) に集約されている。構造化問合せに照らし合わせて見ると、情報資源の選択や問合せ結果に含まれる実体の生成/選択は、前処理段階に含まれている。Information Visualizer の概念の中にこのような考え方に入っているもの、エージェントの協調によって行われると定義されており、前処理段階をどうサポートすべきかについての議論はあまりされていない。

Information Visualizer の一つである WebForager [14] を考えてみよう。情報の操作の単位となる実体は HTML ページの集まりからなる WebBook である。この WebBook は利用者が自分自身で編纂できるようになっているが、基本的には bookmark の概念を抽象化したものであり、その前段階でのページ検索過程とどのように連携するのかは明らかではない。

SpotFire では属性値の選択や範囲指定による DQ をサポートしているが今のところ元になる表自体の操作は許していないようである。

2.4 Visage

やはり情報可視化の先駆的な位置にある CMU の S. Roth のグループと Maya Design 社は、情報可視化の環境である Visage[15] を中心に、対話的な問合せ構成を可能にする VQE[16, 17] や、

WWW を応用とした VisageWeb[18] の開発を行っている。Visage では情報可視化のツールと、可視化の設計環境、さらに、ヒストグラムなどの可視化結果を利用者対話の widget として利用するための機能が提供されており、これらの組合せによる情報集約型タスク (information-centric task) の支援が目的とされている。内部のモデルはオブジェクト指向表現に基づいており、属性値のペアの集合によってオブジェクトが定義される。これは u-form と呼ばれる³。u-form にはメタデータは存在しないので、その意味では半構造オブジェクトモデル [19] に似ている。

Visage のオブジェクトは概念 (concept) と集合 (collection) に大別されるが、集合もまた概念である。また、表示の基本単位は要素 (element) と呼ばれ、これらを枠 (frame) にレイアウトすることで可視化が定義される。可視化要素と概念との結び付きを定義することで、実際の可視化が行われ、また、可視化要素に対しての操作は、それと結び付けられた概念を経由して、複数の可視化要素に対して影響を与える。オブジェクトの振る舞いや、可視化フレームの定義はスクリプト言語によって記述される。

2.5 VQE

VQE は実体関連モデルを利用した視覚的な問合せ環境を Visage 上に構築したものである。実体関連図 (entity-relationship diagram, ER 図) を用いて対話的に選択されたオブジェクト経路 (object path) はスレッド (thread) と呼ばれるが、このスレッド集合が可視化の対象となる⁴。可視化においてもオブジェクトの識別性が維持されているので、問合せインタフェースで構成されたスレッドを可視化するだけではなく、可視化を通じて選択されたスレッド集合を更に別な問合せや可視化で利用することができる。また、スレッド集合の定義は内包的 (intentional) にも与えられるので、外延的 (extensional) なスレッドの集まりとしてだけではなく問合せ定義によって規定することもできる。これにより可視化だけではなく、問合せも再利用が可能である。なお、ER 図を構成するメタ情報は既定義であるという前提で議論がされ

³いわゆる “フレーム” に類似している。u-form という言葉 자체は文献 [18] における Visage の説明で使われている。

⁴thread は文献 [16] では使われているが、文献 [17] では使われていない。また、オブジェクト集合は aggregate と呼ばれている。問合せの過程で動的に生成される集合は、特に dynamic aggregate と呼ばれる。

ているようであり、これをどのように生成するのかについては言及されていない。

報告されている限りでは VQE の問合せ言語には選言、否定、グルーピングは含まれていない。

2.6 GQL

VQE の設計は視覚的な問合せ言語に GQL [20] にならっていると報告されている。GQL は Backus の FFP (formal FP) の 1 次元の言語構文に視覚的な 2 次元構文を対応付けたものである。その意味では、ドメイン関係論理の 1 次元構文にフォームベースの 2 次元構文を与えた QBE に近いとも言える。記述能力は FFP の計算能力に準ずるため非常に高いものであるが、動的問合せや問合せプレビューなどのような、検索結果のフィードバックを見ながら対話的に問合せを修正していくという考え方は盛り込まれていない。

3 Overview とスキーマ

情報可視化における重要なタスクが overview である。これは、データインスタンスの全体像を視覚的に表示するもので、以降の、filter, zoom, details-on-demand, relate, extract, history といったタスクに至る第一段階である [21]。従来のデータベースシステムであれば、この段階で使われる情報はスキーマによって完全に表現されている。VQE が ER 図との対話を問合せ構成の最初のステップとして使う考え方は、その意味で古典的である。

それに対して、例えば Information Visualizer を構成する情報可視化の一つである Table Lens [22] におけるデータ探索では、表形式のデータを用いているものの、スキーマに相当する表のカラム定義の役割は重要ではない。Table Lens では大きな表の全体像を示し、その中で特に注目する一部分のみを拡大表示する方法を探っている。これは focus+context と呼ばれ、情報可視化の基本的な技法の一つである。Fernus の generalized fish eye view [23] が古典的な例であり、前述の Perspective Wall や、WebForager で使われる Document Lens もこの範疇に入る。

この考え方には明確なスキーマのないデータ集合にも対応しているという意味でより柔軟である。しかしながら、Information Visualizerにおいて情報可視化を与える、Cone Tree, Cam Tree, Perspective Wall, Table Lenses などは、各々別々

な構造のデータに対して focus+context を提供する仕組みで、同一データの多様なビューを調べながら相互の関係を調べるというタスクは想定されていない。クラスタリングなどをを行う情報組織化／構造化エージェントも考えられているが UI 部分との連携は細かくは議論されていない。

Visage の汎用のオブジェクトモデルには、半構造データモデルとしての性質が内在している。実際、この性質を使って Web データに対応させたものが VisageWeb [18] として報告されている。このシステムでは、HTML 形式のファイルを構文解析し、SGML エレメントを Visage オブジェクトに対応づけることでデータの取り込みを行う。取り込まれたデータは通常の Visage オブジェクトと同じであるから、Web ブラウザと同様の可視化のみでなく、可視化結果に対しての直接操作や、その他の可視化ツールも利用できる。

しかしながら Visage のオブジェクトモデルには問合せの概念が存在しないため、UI と対話的な探索機能にとどまっている。問合せ環境としてどのようなものを準備してゆくかのビジョンは（少なくとも上記の論文には）述べられていない。VQE では ER 図からスタートするのでスキーマ定義をしないと問合せ構成ができない。

この議論から、データベースシステムで研究がなされてきた半構造のデータモデルが情報可視化システムのオブジェクトモデルとして利用できるであろうということと、また、半構造データモデルに基づく問合せ言語が、情報可視化においても有効であろうということが考えられる。

4 ブラウズと問合せ

ここで問合せとブラウズについて少し整理をしておく。ブラウジングには現在位置が存在するのに対し、問合せは着目するサブセットが変化する。従って、ブラウズの言葉で考えれば、集合単位で現在位置を決定するのが問合せということになる。視覚的なデータ検索の場合では、実際にはこの双方を利用する⁵。

それでは具体的にどのように集合の選択がされるかを考えてみよう。まず、何らかの形でインス

⁵なお、上述の 7 種類のタスクは、Shneiderman が定義したタスク×データ型分類 (task-by-type taxonomy) のタスクである。既に述べた通り、filtering はタスクとして定義されているが restructure が定義されておらず、いわゆる構造問合せ (structural query) があまり重要視されていないことがわかる。

タンスの overview が得られているとする。典型的な問合せとしては、次の 3 種類が実際の情報可視化システムの例に見られる：

- (1) スライダーなどのウィジェットを利用して属性値ベースのフィルタリングをする；
- (2) overview から集合を直接選択する；
- (3) データクラスタリングを行っておき、クラスタの選択によって間接的に集合を選択する。

それに対して、通常副問合せを利用して相当するような演算を考えて見よう。スカラー型副問合せを構成するシナリオは次のような手順になる：

- Step 1.** 各オブジェクト obj に関する集合 $s(obj)$ を定義する；
Step 2. $s(obj)$ への集約演算 f を定義する；
Step 3. $f(s(obj))$ をオブジェクトの属性 $a(obj)$ として定義する；
Step 4. $a(obj)$ を可視化対象に加えフィルタリングなどに利用する。

これは SQL では一文で書けるような単純な問合せであるが、情報可視化と直接操作との組み合わせでは複数ステップが必要になる。なお、VQE ではこのようなシナリオを実行することが可能なようであるが、スキーマ定義が無い状態からも容易にできるかどうかは明らかではない。

5 統合システムの構成要素

以上の議論をふまえ、データベースシステムと統合された情報可視化システムというものが（もしあるとすれば）どのような構成要素を持つべきであるかという点を簡単にまとめておく。

5.1 汎用のデータモデル

検索や探索を実現するためには、内部操作をその可視化との対応をシステムが把握している必要がある。また、異種の情報源を統合的に扱うためのラッパーも必要である。従って、これらのデータとその間の結び付きを表現するモデルが必要である。

5.2 高機能の視覚的問合せ言語 (VQL)

視覚的な問合せ言語としては機能が限定されたものが多いようである。従来の SQL 等の問合せ言語でもやはり計算能力は限定されているが、ホスト言語で利用すれば容易に計算完備になるため、問合せ言語能力の限界を越えることが可能であった。視覚的問合せ言語ではホスト言語に相当するものが情報ワークスペースのような仮想的な空間となってしまうため、計算能力の制限を越えるのは容易では無い。従って、視覚的な問合せ言語自身に高い計算能力が望まれる。

5.3 動的問合せ (DQ) と問合せレビュー (QP)

情報可視化は人間の認識-思考-対話のサイクルと密に連携して始めて意味をなす。動的な問合せは検索パラメタの影響を実時間で調べることによって、迅速に洞察を得ることを可能にする。また、問合せレビューはこの実時間性を保証するための仕組みである。

5.4 問合せ処理エンジンとの連携による高速なフィードバック

可視化システムの汎用性を高める意味では、データレポジトリとの結び付きはあまり密ではない方が良いのであるが、DQ や QP との連携を考えた場合、問合せ処理系が情報可視化での処理を理解する必要がある。

5.5 情報可視化設計における利用者支援

可視化は洞察を得るための道具であるが、どのような洞察が得られるかは目的に照らして適切な可視化が得られるかに大きく依存する。操作セットにこれらを含めるだけではなく、利用者の意図に合わせた適切な情報可視化が得られるような利用者支援が必要である。

5.6 異種情報資源の組織化

单一の情報源だけを取り扱うのではなく、分散した異種自律情報源を扱う必要がある。データモデルにそのようなデータを表現できるだけの能力があることと同時に、視覚的な表示に適切なサイズまで組織化と抽象化する機能が必要である。

5.7 スケーラビリティの高い可視化メタファと ウィジェット

情報可視化は一貫して大量データの視覚的表示を目指しているが、データ数が増えれば問題が発

生する⁶。3次元と4次元の可視化メタファはこのような問題を解決すべく導入されたものであるが、データアイテムの総数がG単位になるような例でも有効になるかどうかは未知である。スライダーなどのウェイジェットについても同様のことがらが言える。単位の違う階層を持ったスライダーなどが必要になるかもしれない。

6 サブプロジェクト概要

情報の組織化という側面も含んだ情報可視化システムを考えた場合、3次元UIとしてだけではなく、問合せ構成、対話環境、設計支援という3種類の側面を考えなくてはならない。本節では、これまで筆者らが行ってきたサブプロジェクトの概要を説明する。詳細は文献[24]を参照されたい。

6.1 MWMD プロジェクト

MWMD[3, 4]は科学技術可視化システムのKhrosos[25]を、拡張可能DBMSのPostgreSQL[26]のプログラミングインターフェースとして利用することを目的として作成したものである。科学技術データの可視化においてはモジュール型可視化システム(MVE)が事実上の標準となっており、アイコンベースのプログラミング環境で可視化処理に相当するデータフローを記述することによって、簡単に使い捨てプログラムが作成できるようになっている。MWMDプロジェクトではこのような特徴を、PostgreSQLの利用者定義SQL関数の作成と利用に使えるようにしたものである。Khrososで作成した画像処理のプログラムが問合せの述語に使えるので、画像の類似検索などの問合せを簡単に作成することができる。さらに、可視化環境で問合せの構成と実行が行えるので、利用者インターフェースなどを別途作成する手間が省け、画像類似検索などの対話システムが容易に作成できる。

また、問合せはデータフローパラダイムで記述される。計算能力は基本的にはSQLの構文要素をデータフローの形で記述できるようにしたものであるため、SQLレベルで記述可能な演算を導入することは難しくない⁷。

6.2 LAN トラフィックの可視化

また、大学の学内LANシステムのトラフィックデータを事例とした情報可視化システムも作成している[5]。ネットワークデータの可視化は、AT&TのEickらによるSeeNet3D[27]に示される通り、情報可視化において一つに応用分野を確立している。しかしながら、どのようなデータに対してどのようなメタファを提供したら良いかという点についての考察は行われていない。我々のこのシステムには二つの目的がある。一つ目は、自動的に収集されるトラフィックデータを可視化することで、ネットワークシステムの機器構成の詳細を知らない利用者であっても状態把握を可能にすることであり、これは情報可視化の一般的な利用目的である。

もう一つの目的は情報可視化設計の方法論を具体例に適用することにより設計手法の検討を行うことであった。具体的にはShneiderman[21]らによって提案されたTTT手法と、Card[28]らによって提案された可視化語彙による設計方法を適用している。可視化の空間を設計する意味では前者は抽象度が高すぎるということ、また、後者は設計された可視化の記述をするのには向いていないが、設計の方法論としては利用できないことがわかっている。

6.3 GADGET/IV

GADGET/IV[6, 7]はこのような観点から、可視化設計に関する知識を知識ベース化し、また可視化事例とプログラムの蓄積も行うことによって利用者支援をするシステムである。この研究は科学技術可視化における利用者支援を目的として開発されたGADGET[29]システムの考え方を情報可視化に適用したものである。GADGETでは科学技術データの可視化技法をデータベース化し、目的指向分類を統制語彙とした検索をサポートした。また、検索によって、可視化の手法、実行例、モジュール型可視化環境のAVSで実行可能な具体的なプログラムを得ることができるようになっている。これによって、可視化を専門としない利用者であっても、目的に合った可視化を行うことが可能である。GADGET/IVは主要な会議で報告された技法を整理して知識ベース化を行い、AVS/Expressを用いて利用者支援環境を構築している。

⁶clutter, occlusion, distractionなどである。

⁷ただし、それが直感的に分かりやすいかどうかについては疑問がある。

7 今後の展開

本節では、上記の議論を、これまでの研究に照らし合わせながら、既に実現されているもの、今後検討と実装の研究が必要なものが何かを述べる。基本的にはモジュール型可視化環境を中心にして、その発展形として情報可視化とデータベースアクセスの機能を追加していくことを考えている。

7.1 データモデル

Visage の項目で述べた通り、モデルとしては半構造データモデルが適切であると考えられる。既にこのようなモデルに基づく検索エンジンや、スキーマ抽出のための方法論が検討されているので、それらを利用する考えられる。また情報資源の異種性についても、データモデルレベルである程度は吸収できると考えている。

7.2 可視化環境

これまでの研究の蓄積や普及の度合いに鑑みて、モジュール型可視化環境を引き続き使うことを考えている。ただし、現在のモジュール型可視化環境では、データの前処理段階から、表示段階への流れが一方向となっている点が問題点として考えられる。逆向きの流れ、すなわち、可視化結果への直接操作をデータの前処理段階に反映させる方法は検討する必要がある。

情報可視化における利用者支援については、GADGET/IV の資産をそのまま引き継ぐ形で研究を進める予定である。

7.3 視覚的問合せ言語

MWMD では SQL の構文を可視化モジュールの組み合わせで表現できるような仕組みを作成した。同様の考え方により視覚的な問合せ構成が可能であると考えている。

7.4 DQ と QP

MWMD ではデータそのものが処理過程を流れるのではなく、問合せ式そのものが操作対象となる。従って、可視化環境は問合せそのものが何であるかを理解しているので、QPへの対応はある程度可能であると考えている。これに対して DQ については新たにモジュールを開発する必要がある。

7.5 問合せ処理エンジンとの連携による高速なフィードバック

これに対しては二つの方向性があると考えている。既にのべた通り可視化環境は問合せそのものと可視化そのものの双方を理解している。この性質を利用し、可視化環境での問合せ構成段階で検索対象を制限する方法である。もう一つは、可視化で要求される速度や解像度などのパラメタを問合せ処理系に渡して、ちょうど QoS 制御のような方式を探ることである。

7.6 可視化モジュール

モジュール型可視化環境での情報可視化モジュールの蓄積がまだ少ないので、これらの充実を急ぎ、ケーススタディを積み重ねたいと考えている。なお、スケーラビリティの高い可視化メタファーやウイジェットの開発は、これ自体がチャレンジングなテーマであり、順次着手したいと考えている。

参考文献

- [1] N. Gershon and J. R. Brown: "Computer graphics and visualization in the global information infrastructure", IEEE Computer Graphics and Applications, **16**, 2, pp. 60-75 (1996).
- [2] S. K. Card, J. D. Mackinlay and B. Shneiderman: "Readings in Information Visualization: Using Vision to Think", Morgan Kaufman (1999).
- [3] Y. Ichikawa, C. Watanabe, N. Ukai and R. Furuhata: "MWMD: A module-based workbench for multimedia database programmers and users", Proceedings of the Fifth International Conference on Foundations of Data Organization (FODO'98), Kobe, Japan, pp. 231-240 (1998).
- [4] 市川, 鵜飼, 坂本, 古畠, 渡辺: "データフロー型可視化システムを用いたマルチメディアデータ処理関数の開発環境", 第 9 回データ工学ワークショップ (DEWS'98), 群馬 (1998).
- [5] 稲本, 市川, 藤代: "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論文集 (DEWS '99), 鹿児島 (1999).
- [6] I. Fujishiro, R. Furuhata, Y. Ichikawa and Y. Takeshima: "GADGET/IV: A taxonomic approach to semi-automatic design", Proceedings of the IEEE Symposium on Information Visualization (InfoVis '00) (2000). (To appear)).

- [7] 古畠, 藤代, 市川 哲彦, 竹島由里子: “GADGET/IV: 情報可視化の半自動設計支援環境”, 第12回データ工学ワークショップ論文集 (DEWS 2000), 滋賀 (2000).
- [8] S. K. Card, G. G. Robertson and J. D. Mackinlay: “The information visualizer, an information workspace”, Proceedings of the CHI 91 Conference on Human Factors in Computing Systems, pp. 181–188 (1991).
- [9] G. G. Robertson, J. D. Mackinlay and S. K. Card: “Cone trees: Animated 3D visualizations of hierarchical information”, Proceedings of the CHI 91 Conference on Human Factors in Computing Systems, pp. 189–194 (1991).
- [10] J. D. Mackinlay, G. G. Robertson and S. K. Card: “The perspective wall: Detail and context smoothly integrated”, Proceedings of the CHI 91 Conference on Human Factors in Computing Systems, pp. 173–179 (1991).
- [11] B. Shneiderman: “Dynamic queries for visual information seeking”, IEEE Software, **11**, 6, pp. 70–77 (1994).
- [12] C. Plaisant, B. Shneiderman, K. Doan and T. Bruns: “Interface and data architecture for query preview in networked information systems”, ACM Transactions on Information Systems, **17**, 3, pp. 320–341 (1999).
- [13] S. K. Card, J. D. Mackinlay and B. Shneiderman: “Information Visualization”, chapter 1 (1999).
- [14] S. K. Card, G. G. Robertson and W. York: “The WebBook and the Web Forager: An information workspace for the World-Wide Web”, Proceedings of the CHI 96 Conference on Human Factors in Computing Systems, pp. 111–117 (1996).
- [15] J. Kolojejchick, S. F. Roth and P. Lucas: “Information appliances and tools in Visage”, IEEE Computer Graphics and Applications, **17**, 4, pp. 32–41 (1997).
- [16] M. Derthick, J. Kolojejchick and S. F. Roth: “An interactive visual query environment for exploring data”, Proceedings of the ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST '97), pp. 189–198 (1997).
- [17] M. Derthick, S. F. Roth and J. Kolojejchick: “Coordinating declarative queries with a direct manipulation data exploration environment”, Proceedings of the IEEE Symposium on Information Visualization (InfoVis '97), pp. 65–72 (1997).
- [18] M. Higgins, P. Lucas and J. Senn: “Visageweb: Visualizing WWW data in Visage”, Proceedings of 1999 IEEE Symposium on Information Visualization (InfoVis '99), pp. 100–107 (1999).
- [19] S. Abiteboul, P. Buneman and D. Suciu: “Data on the Web”, Morgan Kaufmann (2000).
- [20] A. Papantonakis and P. J. H. King: “Syntax and semantics of Gql, a graphical query language”, Journal of Visual Languages and Computing, **6**, 1, pp. 3–25 (1995).
- [21] B. Shneiderman: “The eyes have it: A task by data type taxonomy for information visualization”, Proceedings of the IEEE Symposium on Visual Languages '96, pp. 336–343 (1996).
- [22] R. Rao and S. K. Card: “The Table Lenses: Merging graphical and symbolic representations in an interactive focus + context visualization for tabular information”, Proceedings of the CHI'94 Conference on Human Factors in Computing Systems, pp. 318–322 (1994).
- [23] G. W. Furnas: “The FISHEYE view: a new look at structured files”, Technical Report Technical Memorandum #81-11221-9, Bell Laboratories (1981).
- [24] 市川: “データベース技術とビジュアリゼーション技術の統合”, 第7章, 共立出版 (2000. (刊行予定)).
- [25] M. Yound, D. Argiro and S. Kubica: “Cantata: Visual programming environment for the Khoros system”, ACM Computer Graphics, **29**, 2, pp. 22–24 (1995).
- [26] PostgreSQL, Inc.: “Postgresql home page”, <http://www.postgresql.org>.
- [27] K. C. Cox, S. G. Eick and T. He: “3D geographic network displays”, ACM SIGMOD Record, **25**, 4, pp. 50–54 (1996).
- [28] S. K. Card and J. Mackinlay: “The structure of the information visualization design space”, Proceedings of 1997 IEEE Symposium on Information Visualization (InfoVis'97), pp. 92–99 (1997).
- [29] I. Fujishiro, Y. Takesima, Y. Ichikawa and K. Nakamura: “GADGET: A system for goal-oriented application design guidance in modular visualization environments”, Proceedings of the 8th IEEE Visualization '97 Conference (1997).