

空間、可視化、思想の結晶

藤代 一成

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: fuji@is.ocha.ac.jp

動的な3次元CGを利用して、時間的変遷を遂げるビジネスデータ、人間とのコラボレーションを含む情報システムの挙動や、人間の知的活動の所産としての文書等に潜む有用な情報を、より迅速にかつ容易に理解するための技術として「情報可視化」は大きな注目をあびている。本来空間的構造をもたない抽象化されたデータを位相的あるいは幾何学的に解釈することから、情報可視化は「空間化」とよばれることもある。ところが、主観を反映して歪んだ変換をほどこされた情報可視化の結果画像がインターネットを通じて配信されることによって客観化する、すなわち「思想の晶化」であるべき情報可視化が「思想の凍結」を招いてしまう危険性が指摘されている。この解決法の一つは、ユーザに元データを受理させ、個々に独自の可視化を行わせるような基盤の確立である。その具体的方策として、データの本質を抉ることのできる可視化技法を目的指向的に半自動設計する情報可視化支援システムの可能性を論じる。

Spatialization, Visualization, and Knowledge Crystallization

Issei Fujishiro

Department of Information Sciences

Ochanomizu University

2-1-1 Otsuka, Bunkyo-Ku, Tokyo 112-8610, Japan

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

Information visualization has attracted much attention as an emerging technology that takes advantage of the traditional 4D computer graphics in order to allow the user to comprehend the useful information embedded in dynamical business data, the behavior of human-collaborated information systems, and various types of documents as the products of human intellectual activities. Information visualization is referred to as *spatialization*, since using it the user attempts to interpret abstract data, which is inherently non-spatial, in a topological or geometrical manner. Meanwhile, the possibility of a serious social problem has been pointed out that resultant images which are transformed distortedly reflecting the producer's subject are walking uncontrollably as objective entities through the Internet; thus giving rise to knowledge freezing instead of *knowledge crystallization*. One of the promising ways to address this problem is to establish the infrastructure that provides the user who receives the raw data with opportunities to visualize it by himself/herself. To meet the goal, we discuss the potential of information visualization design support systems.

1. 情報可視化の意義

高性能計算環境の発展や計測装置の高度化を背景に、容易に入手できるようになった大量の数値データの中に潜む対象の定性的な特徴を、効果的かつ直観的に理解するためには、「百聞は一見に如かず (A picture is worth a thousand words)」の諺どおり、性能向上の著しいワークステーションやPCに搭載されているグラフィックス機能を援用して、数値データを視覚的な形式に変換するのが最良の方法の一つである。しかも、専門家集団によって編纂された百科事典の紙面や陳列された博物館のディスプレイを見るのとは異なり、生のデータを自らの手で好きな見方で絵に直せること (controllable picture)は、千言の価値をさらに上回ると考えられる。こうした目的を達成するためのCG応用技術をコンピュータビジュアリゼーション (computer visualization ; 以後単に可視化) とよぶ [1][2]。

可視化は、これまで天体望遠鏡や顕微鏡が、肉眼では見ることでできない現実の対象の視認を可能にしてきたのと同様に、計算環境が作り出す仮想のデータ世界に存在する対象を視覚的に捉えようとする技術である。CGを援用する可視化には、現実の対象を直接的に取り扱う手法にはない、以下のような特長がある：

- ① 時空間独立性：対象の時空間スケールに依存しない
- ② 第一人称性：個々のユーザの好きな見方で対象を観察できる
- ③ 非侵襲性：対象を壊さずにその内部を探れる
- ④ 再現性：得心のゆくまで繰り返し対象を視ることができ

こうした特長を活かし、コンピュータアルゴリズムの動作、複雑な時系列ビジネスデータ、人間とのコラボレーションを含む情報システムの挙動や、人間の知的活動の所産としての文書といった、拡大した応用を扱う可視化技術が90年代後半から大きな注目を集めている。これが**情報可視化 (information visualization)**である[3-10]。

この分野の牽引役の一人である米国Xerox PARCのS. K. Cardによれば、情報可視化は、「動的な3次元CG技術を利用して、科学技術分野に限定されない、多くの場合、空間的構造をもたないデータに潜む有用な情報を、より迅速にかつ容易に理解するための技術」であると定義される。空間的構造をもたない抽象的な対象を扱うことから、情報可視化は、**空間化 (spatialization)**、ビジョン化 (envisioning)、ビジュアルデータマイニング (visual data mining)、**知識の晶化 (knowledge crystallization)**などともよばれている。

情報可視化は、ネットワーク、データベース、情報検索、マルチメディア、バーチャルリアリティ等を要素技術にもち、エンドユーザの知識増幅 (intelligence amplification)をはかる総合的インタフェースを提供する技術である。この技術革新を強力に推進している背景には、エンドユーザ主導で管理されているデータ資源に、利用機会の大きく増したインターネットを通じて、誰もが居ながらにして瞬時にアクセスできるようになってきたという事実がある。確度では劣っても鮮度の点で圧倒的に勝る個人データベース群から、個々のユーザにとって真に価値のある情報の鉱脈を、手軽に、しかも要領よく見つけ出したいと願うユーザたちが、デスクトップではなく、実世界のフィールドを模した3次元の視覚系の中で複雑な対象を効果的に解釈できるような新しい技術の確立を欲しているのである。自然科学や工学という垣根が取り払われた結果、こうした可視化の利用人口は、旧来の1万人から1億人のオーダーにまで増えるという観測もある。

情報可視化の研究開発では、WIMP (Windows-Icons-Menu-Pointers)スタイルの2次元GUIを超え、単なる情報の呈示・解析の定型的処理だけでなく、情報発掘あるいは知識発見といった非定型的な意志決定型処理を可能にする3次元メタファに基づく情報ワークスペース (information workspace) とよばれる3次元仮想環境が種々検討されている。そこでは、バックエンドデータベースの

直接操作、すなわち、データの加工・呈示・判断の一部および蓄積・更新をスペース内のエージェント(agent)に代行させ、ユーザをより高次の情報中心タスクに没頭させるために、数多くの専用可視化手法が提供されている。それらの特長は、大量データの全体像を見失わずに現在探索しているポジションを確認できるフォーカス+コンテキスト(focus+context)機能にある。また対応する3次元GUIは、複雑な対象と旧来の操作系との間の次元の食い違いを是正し、ユーザの心理的負担を軽減できるため、ユーザをより複雑なタスクに専念させる効果をもたらすことができる。情報可視化は、その視覚的直観性により、対象解析へ向けて最初の鮮やかな切り込み (first critical cut) をユーザに提供している。

2. 情報可視化の問題点

数年前、偶然に昭和21年刊行の湯川秀樹先生の著書「目に見えないもの」[11]と出会う機会があった。幼少の頃伝記を通じてしか接したことの無い偉人が、可視化の本質を示すタイトルの本にどのようなことを著しているのか俄然興味が沸いた。その中に収められている最後の随筆「思想の結晶」の冒頭に、次のような一節がある：

『水は凍った時に初めて手で掴むことができる。それは恰かも人間の思想が心の中にある間は水のように流動して止まず、容易に捕捉し難いにも拘はらず、一旦それが紙の上に印刷されると、何人の目にもはつきりした形となり、最早動きの取れないものとなつて了ふのと似ている。寔に書物は思想の凍結であり、結晶である。』

主観的なことばによって著された科学的アイデアが、その良否にかかわらず一人歩きを始め、時間的・空間的に隔たりのある第三者(自分も含めて)に辿り着いたとき、いったいどのような影響を与えることになるのか、そこには光と陰の双方が必ず存在するはずだというのが同文の趣旨である。

文中の「紙」を「画面」に、また「書物」を「可視化」にそれぞれ置き換えてみた。少なくとも物理的な意味では束縛が解かれつつある今日のメディアを介して、われわれは果たしてどこまで、凍結ではない、結晶としての科学的知見を表出することができるのだろうか。まさに、可視化の分野で今日大きな問題となっていることを、半世紀も前に先生は言い抜いておられたのである [12]。

インターネットを介して入手できるものは生データに限らない。自身のサイトの注目度を高めるために、情報伝送密度の高い視覚メディアを利用して、情報の発信側が既にデータのビジュアライゼーションを済ませているケースは今後ますます増えてくるはずである。となると、情報の受信側はどういう行動をとるだろうか。自らの手で可視化することを億劫がり、提供されるがままに第三者の図的解釈を鵜呑みにする性向をもつとは言えまいか。特に、情報可視化手法で顕著に見られるノンフォトリアリスティックレンダリングと同根の歪んだ変換(distorted transformation)を用いた情報の強調効果に頼る場面を想定すると、専門性のスペクトルが飛散する状況では、さらに確度を失った結果から大きな誤解を生みかねない。

湯川先生が心配された思想の凍結を、かえってコンピュータネットワークが助長する危険性が今後増え続けていくことはないかと断言できるだろうか。

こうした主観的変換の客観化に対する解決は、さまざまなレベルで可能であると考えられる。例えば、人間の情報自己組織化や認知機構の問題に言及した人文科学的アプローチや、法制上の措置を講ずるための社会科学的アプローチは、ともに基盤的な役割を果たしていくに違いない。しかしここでは情報科学的解決を目指して、情報バドラーとしての可視化支援システムの可能性に焦点を合わせたい。可視化支援システムは、情報可視化による「思想の凍結」を避け、「思想の結晶」を実現するために、専門家の知識をベースにエンドユーザと協同し、第一人称性的な可視化タスクを遂行させるようなエージェントの一種である。

3. GADGET/IV : 情報可視化設計支援システム

可視化の手順は、一般に4つのステップから構成される。計算/計測によるデータ獲得に始まり、必要なフィルタリング処理がほどこされた後、対象の性質が最も良く伝えられると考えられる視覚表現への変換が行われ、最後に結果画像が表示される。各ステップに相当する具体的な処理機能をモジュールとして独立させれば、可視化プログラムはモジュールをノードとする、ある種の有向グラフ(ネットワーク)で表現できる。

MVE (Modular Visualization Environment) とよばれる汎用可視化ソフトウェアでは、この考え方にそって大多数の可視化問題を解決できるように、標準モジュール群がステップごとに前もって用意され、画面上で必要なモジュールに対応するアイコンを選択・接続するだけで、個々の目的に適した可視化ネットワークを視覚的に編集・実行できる環境が提供されている。これにより、ユーザは面倒なCGライブラリの習熟を必要とせず、手軽に可視化応用プログラムを開発できるようになった。「データを獲得した時こそ視たい時」というユーザの要求を満たすこの利便性を主な理由として、MVEは可視化ソフトウェアの事実上の標準として認められるまでになった。知名度の高いMVEには、国内外での累計出荷本数が14,000本に達するといわれるAVSを筆頭に、十種類程度が現在もなお利用可能である。

ここでMVEプログラミングの実際をもう少し詳しく見てみよう。ユーザは通常、上述の処理手順を念頭において、機能分類と入出力データ型に基づく結合制約というモジュール相互間の緩い依存関係だけに頼りながら、モジュールの選択・接続を繰り返す。しかしMVEの主要なユーザは、各分野での専門家ではあっても、可視化技術そのものの専門家であるとは限らない。そこで、応用分野向けに機能が特化されているわけではない汎用のMVEが提供する標準モジュール群の中から、手持ちのデータに対して効果的な可視化が行えるようなモジュールを適切に選択することは決して易し

いことではない。しかも相次ぐバージョンアップによって、標準モジュール群は徐々に拡充される傾向をもつのである。事実、豊富な標準モジュール群を誇るAVSでは、頻繁に利用されるモジュール数が全体の1割にも満たないという報告さえ知られている。

そこで筆者らは、こうした可視化応用設計に要求される専門家のヒューリスティクスを集めて知識ベース化し、半自動的なモジュールネットワークキングの環境をユーザに提供する次世代MVEとして、科学技術目的の可視化をターゲットとしたC²TMA (Classification and Case-based Instruction system for visualization network Manipulation) [13, 14] およびGADGET (Goal-oriented Application Design Guidance for modular visualization Environment[s]) [15-17], そして情報可視化向けにGADGET/IV (Information Visualization) [18-20]を開発してきた。

可視化の専門知識を体系化するにあたり、これらのシステムがもつ最大の特徴は、Wehrendマトリックスとして知られる技法分類を採用した点にある。これは、可視化の目的を、厳選された解析の動詞と対象の名詞の組合せで表現し、最も合致する可視化技法のリストを対応づけるソフトウェア工学的手法である。

さらにGADGET/IVがGADGETから差別化される主要な特徴は、以下の3点にまとめられる：

- ① 情報可視化技法の徹底した調査に基づき構築した階層的な技法分類を知識ベースに備えた。
- ② 情報可視化の目的をより明確に規定するために、旧来のWehrend分類の語彙を洗練化した。
- ③ 視覚的情報検索の理念を与えているShneidermanのTTT(Task by data Type Taxonomy)を考慮に入れて、情報可視化の目的の記述とユーザナビゲーション機能に改良を加えた。

図1に、GADGET/IVシステムの基本アーキテクチャと可視化支援のプロセスを、Webサイトのアクセス頻度分析の事例を添えて模式的に示す。

ユーザがまず、Wehrendマトリックス形式で記述される可視化目的、対象とするデータの次元、時系列/地図情報の有無を入力すると、その仕様を満足する情報可視化技法群が知識ベースから検索され、ユーンツリー（3次元階層図）の形式で返されてくる。ここでは適応度の高いものほど手前側に大きく表示される。ユーザはこの時点で、各技法の適用分野や過去の事例を専用のウィンドウで確認することもできる。次に選ばれた技法に対応するモジュールネットワークが知識ベースから検索され、MVEウィンドウを通じて表示される。それに対してユーザが関連する可視化パラメータ値を指定し、可視化したいデータベースに接続すると、標準的な可視化結果が自動的に表示される。ユーザは必要に応じてモジュールネットワークを編集することができる。また、個々の技法ごとに用意されるズーム、フィルタリング、詳細情報表示機能を選択し、可視化タスクを進めることもできる。同図では、ある組織の個々の構成員ページ別に

どういった機関のユーザからのアクセス頻度が高いかを確認するために、(Compare, Nominal, 2D, non-temporal, non-geographical) という5つ組を指定し、それに対して棒グラフのサブテクニックであるCityScape法が推奨され、望ましい可視化結果が半自動的に得られている。

4. 情報可視化設計支援システムの可能性

前節で示したGADGET/IVをはじめとする情報可視化設計支援の概念は、第2節で述べた問題を解決していくための基質を具備していると考えられる。しかしユーザが第三者によって可視化された結果を鵜呑みにせず、自らの見方で対象の視覚的解析を進めていく上でこのような支援システムが実際に役立つためには、エンドユーザに対してより設計支援のレベルを緻密にすること、知識ベースの共有化、ネットワーク上でのシステムの分散化等、今後クリアしていかねばならない課題がまだ多数残されている。

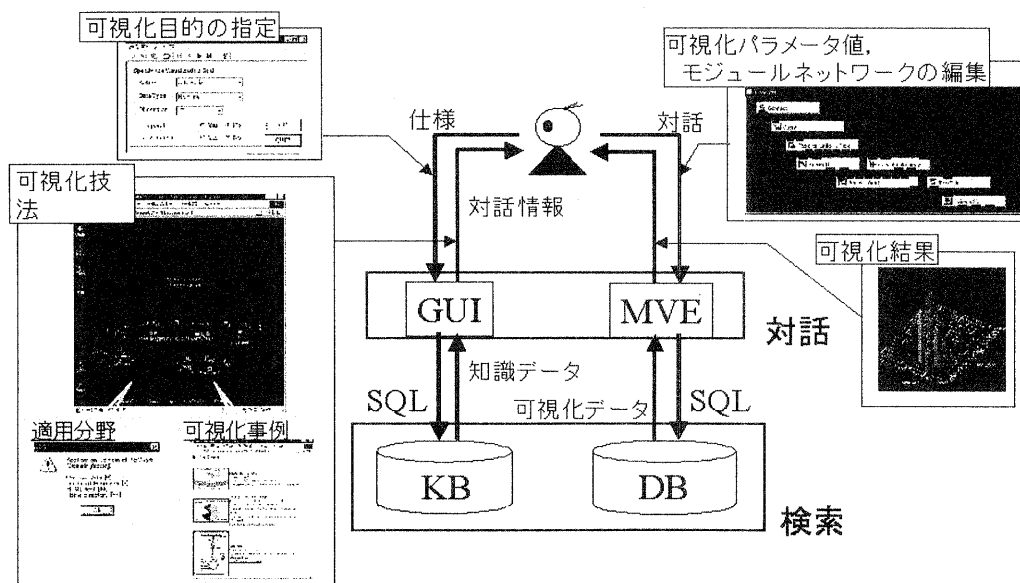


図1：GADGET/IVシステムの基本アーキテクチャと可視化支援のプロセス

参考文献

- [1] 藤代, 芽:「コンピュータデータビジュアライゼーション」, 日本AEM学会誌, 6(3):225-229, 1998年9月
- [2] 中嶋, 藤代 (編著): コンピュータビジュアライゼーション, 共立出版, 2000年刊行予定
- [3] 藤代:「Scientific Visualization から Information Visualization へ」, 第4回情報知識学会研究報告会講演論文集, 東京, 1996年5月, pp.5-6
- [4] 藤代:「サイエンティフィック・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」, 日経サイエンス, 26(7):120, 1996年7月
- [5] 藤代:「データビジュアライゼーションの最新動向 - Scientific Visualization から Information Visualization へ -」(特別講演), 第2回ビジュアライゼーションカンファレンス講演論文集, 東京, 1996年9月, pp.71-78
- [6] 藤代, 小島:「ネットワーク時代のインフォメーション・ビジュアライゼーション(創刊25周年記念対談)」, 日経サイエンス, 27(2):28-31, 1997年2月
- [7] 藤代, 市川, 倉持:「インフォメーションビジュアライゼーション: 基本概念と最新研究動向」, 関東AVSユーザ会/InfoViz シンポジウム講演論文集, 東京, 1997年3月, pp.23-28
- [8] 藤代:「サイエンティ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, 東京, 1997年7月, pp.24-29年3月
- [9] 藤代:「情報の可視化: 基本概念と研究開発動向」, 第5回IFIP 2.6 Visual Database Systems国際会議チュートリアル, 福岡, 2000年5月
- [10] S. K. Card, J. D. Mackinlay, and B. Shneiderman (eds.): *Readings in Information Visualization, Using Vision to Think*, Morgan Kaufmann, 1999.
- [11] 湯川: 目に見えないもの, 甲文社, 1946年
- [12] 藤代:「ビジュアライゼーションへの提言: 思想の凍結ではなく結晶であるために」, 日経サイエンス, 27(12):A22-23, 1997年12月
- [13] 藤代, 中村, 市川:「データフロー型可視化システムにおけるモジュールネットワークの半自動化」, 画像電子学会 Visual Computing '95 予稿集, 東京, 1995年6月, pp.86-87
- [14] K. Nakamura, I. Fujishiro, and Y. Ichikawa: "C²IMA: A classification and case based instruction system for visualization network design," In *Proc. 1st International Conference on Virtual Systems and Multimedia (VSMM '95)*, Gifu, September 1995, pp.118-123.
- [15] I. Fujishiro, Y. Takeshima, Y. Ichikawa, and K. Nakamura: "GADGET: Goal-oriented application design guidance for modular visualization environments," In *Proc. IEEE Visualization '97*, Phoenix, October 1997, pp.245-252, p.548 (color plate).
- [16] 藤代:「GADGET: 次世代MVEを目指して」, 日経サイエンス, 28(6):92, 1998年6月
- [17] 藤代:「GADGET:次世代MVE」, 計測と制御(計測自動制御学会誌), 39(5):361, 2000年5月
- [18] 古畑, 藤代, 市川, 竹島:「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」, 情報処理学会データベースシステム研究会夏のデータベースワークショップ, 沖縄, 1999年7月, pp.255-230
- [19] 古畑, 藤代, 市川, 竹島:「GADGET/IV: 情報可視化の半自動設計支援環境」, 電子情報通信学会第11回データ工学ワークショップ (DEWS2000), 近江八幡, 2000年3月, 2A-3 (優秀論文賞受賞)
- [20] I. Fujishiro, R. Furuhashi, Y. Ichikawa, and Y. Takeshima: "GADGET/IV: A taxonomic approach to semi-automatic design of information visualization applications using modular visualization environment," To appear in *Proc. IEEE Symposium on Information Visualization 2000*, Salt Lake City, October 2000.