

Web ナビゲーション技術にみる 情報デザイン・情報視覚化の最近の動向

菊池 司¹⁾ 伊藤 貴之²⁾ 岡崎 章¹⁾

1) 拓殖大学工学部工業デザイン学科

2) 京都大学大学院情報学研究科

2) 日本アイ・ビー・エム（株）東京基礎研究所と兼任

Recent Trend of Information Design and Information Visualization Studying from Web Navigation Techniques

Tsukasa KIKUCHI, Takayuki ITOH, Akira OKAZAKI

E-mail: {tkikuchi, zak}@id.takushoku-u.ac.jp, itot@computer.org

1) Department of Industrial Design, Takushoku University

2) Academy of Informatics, Kyoto University

アブストラクト

日常生活や日常業務にあふれる膨大な情報の中から、利用者が必要としている情報を適切にわかりやすく提供するためには、視覚的な技術を用いることが非常に有効である。有効な視覚的技術を確立するためには、人間の感覚・感性の観点からと、コンピュータによる自動化の観点からの議論が有用である。

視覚的に情報を提供する技術の代表として、情報デザインと情報視覚化があげられる。前者は人間（デザイナー）が表現した情報を提示する技術であり、どちらかといえば感性の観点から発達した分野である。後者はコンピュータ（プログラム）が表現した情報を提示する技術であり、どちらかといえば自動化の観点から発達した分野である。

視覚的な情報提示技術が必要とされている代表的な分野に Web があげられる。本論文では Web ナビゲーション技術に適用されている情報デザイン・情報視覚化の両技術を紹介し、その内容から情報デザイン・情報視覚化の最近の動向と今後の展望を論じる。

キーワード: 情報デザイン、情報視覚化、Web ナビゲーション

Abstract

Visual technologies are very effective for adequately and friendly providing information required by users, from huge information in our daily life and work. It is necessary to discuss about visual technologies in the view of both human sense and automated technologies using computers.

Information design and information visualization, are typical technologies to visually provide information. Former provides information represented by humans, and latter provides information represented automatically by computers.

Web is a typical technology area that requires visual technologies to provide information. This paper introduces information design and information visualization technologies applied to Web navigation, and then discusses about their recent trends and future directions reflecting the introduced Web navigation technologies.

Keyword: Information design, information visualization, Web navigation.

1. はじめに

近年のコンピュータの性能向上と低価格化により、コンピュータは日常生活や日常業務に急速に普及している。それとともに、コンピュータが扱う情報も、膨大化・多様化・複雑化

の一途を急速にたどっている。それどころか、コンピュータの普及にともない、私たちが日常生活や日常業務で扱う情報そのものが、膨大化・多様化・複雑化していると言われている。その膨大、多様、かつ複雑な情報の中から、利用者が必要としている情報を適切にわかりやすく提供する手段として、視覚に訴

える情報提供技術を確立することが考えられる。人間は日常生活の中で、情報の90%以上を目から入手しているという。つまり人間の目は、もともと情報収集の重要な媒体として機能しているというわけである。このことから、コンピュータから人間への情報提供手段として視覚的技術が有効である、というのも間違いなであろう。

コンピュータを用いて視覚的に情報を提供する技術の代表として、情報デザイン[1,2,3,4,5]と情報視覚化[6,7,8,9]があげられる。両者ともに、コンピュータの情報表示媒体であるディスプレイやプリンタなどを用いて、情報を効果的に視覚表現する技術、という点では共通しており、両者の間に明確な境界線は存在しない。強いて両者の差異をあげるとしたら、デザイナー（人間）が情報を表現しているのが情報デザインであり、プログラム（コンピュータ）が情報を表現しているのが情報視覚化である。言い換えれば、人間の感性の観点から情報を提示しているのが情報デザインであり、コンピュータによる自動化の観点から情報を提示しているのが情報視覚化である。（なお情報デザインは本来、コンピュータの有無にかかわらず情報提供のためのデザイン技術全般を意味する用語であるが、本論文ではコンピュータを用いた情報提供のためのデザイン技術を対象としていることを注釈したい。）

ムーアの法則 [10] によると、コンピュータの心臓部にあたる半導体の集積度は18ヶ月で2倍のペースで向上しており、それともなってコンピュータの本質的な性能、例えばCPUの速度やメモリの容量も、同様に18ヶ月で2倍程度のペースで向上している、と言われている。その一方で、コンピュータに蓄積される情報量の中には、例年2倍以上の速度で拡大している事例も多い。このような事例において、情報はコンピュータの性能向上以上の速度で拡大しているので、年を追うごとに情報はコンピュータから溢れてしまう、と考えられる、よって、そのような情報を適切に提示する情報デザインや情報視覚化も、コンピュータの性能向上と一緒に進化する必要がある、と考えられる。この点から、情報デザインや情報視覚化の研究の重要性は高まり続けている、と考えてよいであろう。

さらに、ムーアの法則が成立しているのはあくまでもCPU速度やメモリ容量の話であり、例えばディスプレイやプリンタの解像度が18ヶ月あたり2倍程度の速度で向上しているという現象は見られない。つまりコンピュータが扱う情報量の拡大に対して、その表示解像度は同様には拡大していないのである。よって年を追うごとに、ディスプレイやプリンタなどの表示性能を有効に活用しながら情報を提示する技術の必要性が高まっている、と考えるべきである。

コンピュータの性能向上よりも高速に情報量が拡大している典型的な事例に、Webがあげられる。インターネットに公開されているWebページの総数は、非常に急速に増加しており、その内容も多様化の一途をたどっている。このように膨大な情報量をもつインターネットの中から、ユーザーが有用な情報を発見することは、必ずしも容易ではない。Google [11] に代表されるWeb検索エンジンは、そのような背景の中で発達を遂げている。

しかし現状では、インターネット全体どころか、1箇所のWebサイトの中でさえ、ユーザーが購読したいWebページを発見することが容易でない事例も多くある。そこで近年では、Webサイトの中をユーザーが自在に徘徊できるように誘導するためのナビゲーション技術の研究が進んでいる。特にWebは、コンピュータ技術に精通していない人を含めて、非常に多くの人に普及しているメディアでもある。一般的にいつてコンピュータ技術に精通していない人にとって、コンピュータから必要な情報を引き出すことは必ずしも容易ではない。その意味からも、Webサイトのナビゲーション技術は重要である、と言える。

Webサイトのナビゲーション技術は、情報デザインと情報視覚化の両方の技術が活用されている典型的な分野である[12]。本論文では、Webナビゲーション技術を題材として、情報デザインおよび情報視覚化の各分野が近年どのように発展しているかを概観するとともに、両分野の今後の動向を推察する。以下2章にて、「情報デザイン」「情報視覚化」の定義について述べる。続いて3,4章にて、Webナビゲーションの目的で情報デザインおよび情報視覚化の各技術を適用した事例を紹介する。最後に5章にて、これらの紹介例を通して見られる情報デザイン、情報視覚化の最近の動向を解説し、また将来の動向を予測する。

2. 情報デザインと情報視覚化

2.1 情報デザイン

情報デザインとは、言葉、絵、図表、地図、絵文字、漫画などによるコミュニケーション（必ずしも電子的とは限らない）のことである[4]。すなわち、情報を、人が効率的かつ効果的に使えるような形で準備する技術と知識であり、現在では種々のマニュアル、時刻表、交通案内や道路標識、経路表示や地図なども情報デザインであるといわれている。

つまり、情報デザインは以下の目的を果たすものであるとまとめることができ、情報デザインと従来からの他のデザイン分野との違いは、コミュニケーションの目的達成の過程で「効率と効果」が重視される点にある。

1. 理解しやすく、すばやく正確に取り出せ、効果的な行動にたやすく移せること。
2. 容易で、自然で、できるだけ快適なツールを使って相互関係をデザインすること（人間とコンピュータのインタフェースのデザインにおける多くの問題解決も含む）。
3. 人々が3次元空間を快適かつ容易に歩き回れるようにすること（都市空間、バーチャル・リアリティ空間も含む）。

従来のデザイン分野で、情報のデザインと最も密接に結びついているのはグラフィックデザインである。情報デザインとグラフィックデザインの区別はほとんどないように見えるかもしれない。どちらの目的も情報の提示であり、コミュニケーションである。しかし歴史的に詳しく見てみると、その違いがはっきりする。

この数十年の歴史を見ると、グラフィックデザインは“アビアランス”（体裁）を強調し、ある現代的な美的価値を表現してきた。職業として現在教えられ、実践されているグラフィック

デザインのルーツは、基本的には 20 世紀初頭のアールデコ様式にあり、ダダイズムに端を発するものである[13]。

一方、情報デザインは“コミュニケーション”を強調し、形だけでなく内容も重視する[14]。ルーツも多様であり、情報理論や認知科学までも含むのが特徴的である。

情報デザインという語が急速に注目されるようになった第一の理由に、複雑になった現代社会において情報を管理するには、少しでも効率的かつ効果的に作動する、高度なコンピュータおよびコミュニケーション・デバイスやネットワークが必要だという時代的な背景が考えられる。単に大量の情報をコンピュータに保存し、それを取り出すだけでは、私たちの情報ニーズを解決することにはならない。実際、あまりにも大量に蓄積された情報は、どこに何があるかわからず、サイバースペースで迷子になったような気分を味わった経験がある読者も少なくないであろう。私たちに必要なのは、より多くの情報ではなく、適切な情報を適切な時に適切な人に少しでも効果的かつ効率よく提示できることである。

情報デザインが注目されるようになったもうひとつの理由は、管理職、技術職、専門職のすべてのレベルで時間がますます貴重になっており、業務目的において高度な情報提示技術が要求されている、という点である。情報デザインがうまくいっていないと作業の効率も落ち、組織として効果的な活動ができないことは容易に想像できる。そのため、情報を効率的かつ効果的に利用できるようにデザイン的側面からも支援しようという考え方が、急速に浸透してきた。

2.2 情報視覚化

情報視覚化は、コンピュータに蓄積されている情報を視覚的に提示するためのソフトウェア技術であり、主に情報を画面表示するためのコンピュータ・グラフィックス技術、画面表示結果を対話的に探索操作するためのユーザーインタフェース技術などの技術を組み合わせた複合的な技術分野であるといえる。また情報視覚化も情報デザインと同様に、人間とコンピュータのコミュニケーションのための重要な技術である、という議論が進んでいる[15]。

情報視覚化の情報デザインに対する明確な差異は、コンピュータの自動算出によってアピアランスが決定される点である。そのため情報視覚化は主に、時々刻々と変化する情報を自動的に提示する目的に向いているといえる。その特長ゆえに情報視覚化は例えば、コンピュータの利用状況、金融・通信・流通・人事組織などの動向分析、出版物や特許のデータベース、といった目的での実用が多く報告されている。

情報視覚化技術の最も単純かつ身近な例として、例えば PC の基本ソフトに導入されているファイルシステム表示ソフトがあげられる。代表的なファイルシステム表示ソフトでは、ファイルシステムのフォルダの包含関係を木構造として表示し、マウス操作によって任意のフォルダの中身を自動表示する、といったユーザーインタフェースを実現している。また例えば、PC の表計算ソフトに付録されているグラフ作成機能も、数値データを視覚的に提示するという意味では、単純な情報視覚化技術

の一種であるといえる。

もう少し個性的な情報視覚化技術で有名なものの一例として、Smartmoney 社 [16] が採用した Treemap [17] という情報視覚化技術があげられる。Smartmoney 社の技術は、長方形の画面領域を 2 次的に多数の長方形に分割して、その大きさと各業界の株取引のシェアを示し、さらに長方形群を再分割して、その大きさと各企業の株取引のシェアを示し、その長方形の色で株価の上昇度（または下降度）を示している。この情報視覚化技術は、株価の動向という日常的な情報に対して、各業界と各企業という 2 段階のレベルを同時に理解できるように提示している、という点で非常にスマートかつ実用性がある。

3. Web ナビゲーション技術と情報デザイン

本章では、Web ナビゲーションおよび Web ユーザビリティに関してデザイン的な側面から研究・実践している例を紹介し、Web サイトデザインにおける情報デザインの動向について論じる。本章では、Web ブラウザ上の情報のレイアウトデザインによってユーザーをナビゲートする研究、実空間指向のデザインによってユーザーをナビゲートする研究、ユーザーのメンタルモデルの採用によってその両者の融合を目指す研究、について論じる。

3.1 レイアウト指向の Web ナビゲーションデザイン

Web サイトのユーザビリティ向上の議論は、システムやコード技術などに比重がかかることが多い。しかし、サイトデザインにおいても、適切な情報構成ということを経験しなければならぬ。デザインは「画面を装飾する」という意味ではなく、情報の配置に一定の秩序を持たせ、内容をより視覚的に伝達しやすくする配慮を行い、メディアの特性を引き出すことを意味する。つまり、デザインは「情報の構成作り」であることに他ならず、レイアウトやデザインに関する正しい認識が Web サイトのユーザビリティ向上には不可欠である。

また、Web サイト作りはブラウザの背後を支える技術の知識を持って初めて Web デザインとなる。つまり、配信方法やコンピュータが持つ制限を知った上で、サイトに必要な機能を形作る作業がデザインなのである。

従来、グラフィックデザインの分野で確立されてきた手法を応用していた Web サイトデザインのレイアウトに関して、近年では実践・研究の両面から考え直そうという動きが見られる。矢野による書籍[18]では、Web サイトのレイアウトパターンにもとづいた分類から、Web というメディアの特性による情報整理法、Flash を用いたインタフェースまで、豊富な図版を用いながら解説されている。この書籍では、Web というメディアの特性を生かしつつ、ユーザビリティやアクセシビリティへの対応の仕方まで解説しており、Web サイトのレイアウトデザインを学ぶための参考書として非常に有益であると思われる。

一方、Web サイトのレイアウトに関する研究ベースのアプローチとしては、M. MATSUMOTO らによる研究例[19]が報告されている。この研究例では、VRSJ（日本バーチャルリアリティ

学会)のWebサイトデザインをテーマとして、従来からの他学会におけるWebサイトデザインをも含み幅広く調査し、Webサイトのレイアウトに関して5種類の形式に分類している。さらに、この分類からユーザーの嗜好調査を行い、サイトのリニューアルに活用するという手法を採用している。

レイアウト指向によるWebサイトナビゲーションを実践している具体的な例としては、IconMedialab Iberia (Spain) のデザインによるカンパールのEストアショッピングサイト[20]が挙げられる。本サイトでは、国際的に購買層を引きつけるためにインタフェース全体にイラストレーションによる説明を多用し、Webナビゲーション面では、ヒエラルキーのある構成の連続するフローに従った従来からのデザインではなく、2方向にブラウジングできるオープンスペースを採用している。この手法により、ユーザーに隠された階層構造をなくし、実際の店舗のように明暗の使い分けによって2次元上に情報が配置されている点がユニークである(図1)。



図1. IconMedialab Iberia のカンパールEストアサイトデザイン。(文献[20]より引用。)

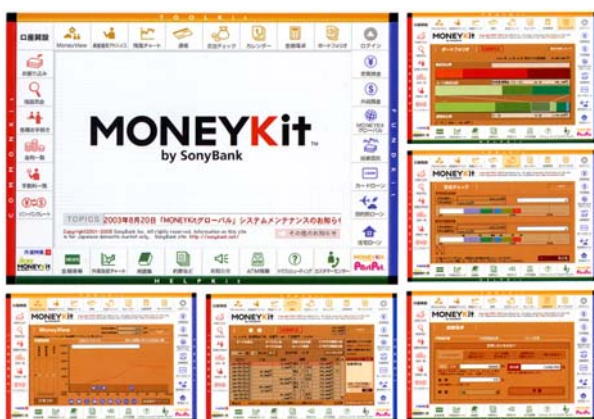


図2. Sony Bank によるオンライン銀行のインタフェースデザイン。(文献[21]より引用。)

また、Sony Bank によるオンライン銀行のインタフェースデザイン[21]では、商品詳細説明や取り引き画面を別ウィンドウに切り分けることで、サイトの階層を削減し、すべてのツールを一度に見渡せるようなレイアウトデザインとしている。また、「考える」、「調べる」、「取り引きする」といったユーザーの行

動に沿ったボタン群のレイアウトにすることによって、金融サービスに必要な多様な情報へのアクセス経路を整理している点が非常に評価できる(図2)。

前述したように、Webサイトを制作するデザイナーには、ブラウザの背後を支える技術、およびその制約について知識が要求される。なぜなら、コンピュータのOSの違いやインターネットブラウザの違いによっては、デザイナーが作成したレイアウトデザインが正しく表示されない可能性があるからである。レイアウト指向のWebナビゲーションデザインの問題点はまさにここにある。デザインとは、情報や機能といった抽象的な概念に形を与える作業である。想定したレイアウトデザインを形に定着させるには、出力先であるユーザーのコンピュータ環境やブラウザの性質を理解することが不可欠であり、また、インターネットというコンピュータネットワーク上の基本的な知識、デザインに関する知識など、幅広い知識を持つ必要がある。さらには、各分野を担当する技術者と円滑に作業を進めるコミュニケーション能力も必要であると言える。

3.2 実世界指向のWebナビゲーションデザイン

実際の地形を紙の平面に描き起こした地図と違って、Webには物理的に存在している「実体」性は薄い。サーバーやルーター、ケーブルといったネットワークを構成する設備の所在は丹念に調べれば明らかにはできるが、それでは情報そのものの所在を表す地図にはなり得ない。そこで、デジタルな情報を実世界に存在するメタファを利用して視覚的に表そう、というデザインコンセプト、つまり視覚的実世界指向のデザインコンセプトが生まれる。

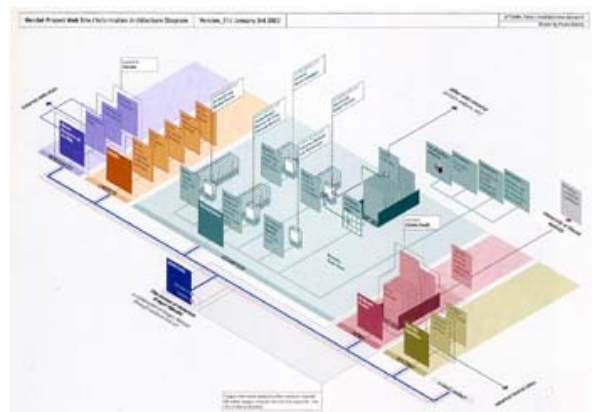


図3. メンデル遺伝博物館Webサイトの情報構造。(文献[23]より引用。)

「NewsMaps.com」というWebサイトでは、ハイテク関連のニュース記事や企業から配信されるプレスリリースなどを対象に、そこで扱われるテーマの重要性やテーマ同士の関係性を地図として視覚化することを試みている[22]。このサイトで使われている「テーマスケープ」という技術では、記事や議論のなかに出てくるキーワードを抽出し、同じようなキーワードが頻出す

る記事を一塊の地域に集める。関連する記事が多ければ多いほど、その地域は拡大し、特にテーマが集中するとそれは「山」として表現される。したがって、ニュース全体は、いくつかの高い山や低い山で構成された一種の山岳地帯のように見えてくるというものである。ユーザーは、日々のニュースの重要度や関心度を地形の変化から読み取るという、ユニークなナビゲーションを実現している。

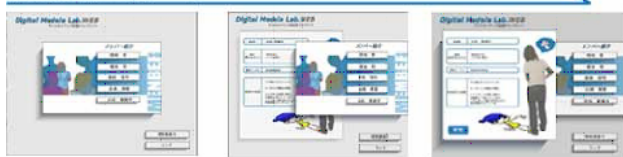
メンデル遺伝博物館の展覧会用 Web サイト[23]では、物理的な空間配置をそのままサイトの情報構造に利用している。図 3 にその情報構造を示す。サイトインタラクションでは、テキストの流れに沿って配置されたキー・ビジュアルを入りに、テーマごとにまとめられたイメージギャラリーに入り、ユーザーが実際の博物館での見学と同様にそれぞれ自分のペースで展示品の間をめぐるが可能となっている。

また、筆者らは視覚情報と直感的操作の融合を目指した Web ナビゲーションに関する研究を行っている[24,25]。

身体移動感を用いたサンプル



遠近感を用いたサンプル



増殖感を用いたサンプル

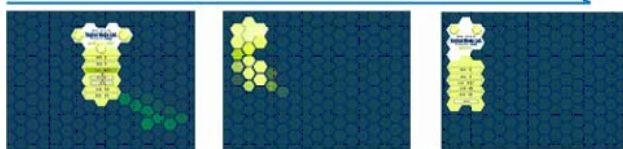


図4. 絵画技法や移動感を利用したWeb サイトナビゲーション。

文献[24]における研究では、Web サイト内において自分がどこに位置しているのか、およびリンクをどのように移動したのかなど感覚を、絵画において用いられている遠近法や情報デザインの分野において用いられている表現方法を利用し、ユーザーに提供することができるサイトデザイン案を提案した(図4参照)。このサイトデザイン案は、ユーザーが日常生活の中で感じているであろう感覚を、絵画という静止したメディアの中で確立されてきた表現手法を利用することにより、Web サイトナビゲーションで提供しようと試みたものである。ここでいう日常生活の中の感覚とは例えば、建物の中の部屋を移動するときや外を歩く場合などに、瞬時にして目の前の景色が切り替わることはほとんどなく、絵画における空気遠近法と呼ばれるような遠近感、および徐々に目の前の景色が変化していく移動感

などの感覚が必ず存在する、というような感覚を指す。

次に、文献[25]における研究では、情報検索サイトの Web サイトナビゲーションを題材として、情報を格納するフォルダをメタファとして利用し、フォルダを3次元空間内に表示することによって各情報間の類似性を3次元空間の距離で表現するデザイン案を提案した(図5)。また、フォルダ同士をドラック&ドロップすることにより新しい情報を検索するという、ユーザーの直感的操作を促すナビゲーションも提案した。

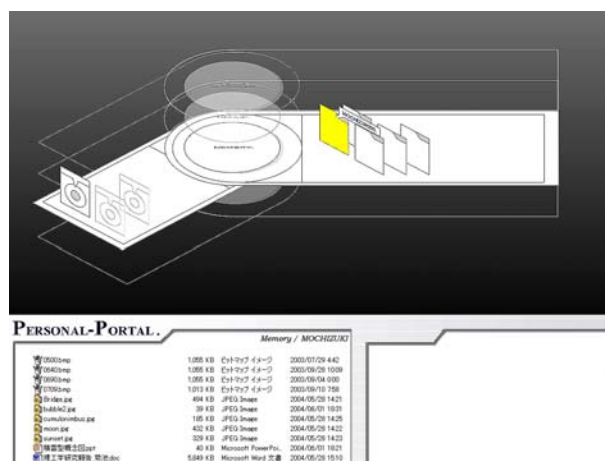


図5. 情報検索サイトにおける3次元空間 Web サイトナビゲーション。

レイアウト指向の Web サイトナビゲーションが、ユーザビリティを重視したものとなるために、アビラランスという観点からのデザインにおいては、オリジナリティを発揮するのが難しい傾向にあるのに対し、実世界指向のデザインコンセプトは、人間の認知に関わる様々な要素をデザインに取り込むことが可能であるため、多種多様な表現方法が可能となり、今後様々な分野でも表現されていくデザインコンセプトであろう。事実、地域コミュニティの情報交換の場におけるコミュニティウェアのデザインや、プロダクト製品におけるデザインまで、実世界指向のデザインコンセプトが見受けられるようになってきている[26]。

しかしながら、Web サイトナビゲーションにおける実世界指向のデザインコンセプトにおいては、様々な表現手法が試みられるがゆえに、Web サイトをブラウジングする際に特殊なプラグインソフトを必要とすることがあることや、3次元空間表現が多用され、その結果一見様々な情報を全体的に俯瞰できるような錯覚に陥るが、ディスプレイという限られた2次元平面においては必ず死角となる部分が存在し、情報の一覧性という面では2次元表現には劣ることなどの問題点が挙げられる。特に、視覚的な実世界の特徴を表現しようとする場合、視覚的ハンディキャップを持つユーザーへの配慮や、視覚という知覚そのものでも、ユーザー一人ひとりによって違うということ[4]を理解しておく必要があるなど、幅広い知識が要求されることは言うまでもない。

3.3 ユーザーのメンタルモデルを利用した Web ナビゲーションデザイン

先にも述べたが、近年のコンピュータ及びネットワーク技術の目覚ましい進歩と普及によって、インターネットは大容量のデータを共有する事が可能となり、その結果としてインターネット上で公開されている Web サイトにも変化が見られるようになった。

Web ページはこれまで、情報を発信する役割と、その発信された情報に興味のあるユーザーらがアクセスすることによって漠然と形成されるコミュニティ形成ウェア、いわゆるコミュニティウェアとしての役割があった。さらに最近では、特定のユーザーのみがアクセスし、共通の目的に向かってコラボレーションを行うためのプラットフォームとして、いわゆるグループウェアとして Web サイトを用いる機会が増えてきた。

グループウェアを「蓄積・非同期型」と「リアルタイム型」の2種類に分類するとしたら、Web サイトは「蓄積・非同期型」に属すると考えられる。またグループウェアを「同室型」と「遠隔型」の2種類に分類するとしたら、Web サイトは「遠隔型」に属すると考えられる[28]。「蓄積・非同期型」「遠隔型」のグループウェアにおいては、大量に蓄積された情報をスムーズに取り出すことができるナビゲーションと、遠隔地にいる共同作業者の状態などに対するアウェアネス支援が、欠かすことのできない重要なグループワーク支援のための要素となる。

アウェアネス支援とは、対面環境におけるコミュニケーションでは当たり前な存在感、実在感や臨場感というもの、グループウェア環境では欠落してしまうために、それらの感覚の「アウェアネス (気付き)」を補完しようというものである[27]。アウェアネス支援研究は Dourish らの「誰が誰と話し、誰が話し手や聞き手の周辺にいるのか、彼らはどのような行為をしているのか」といった日常の同期・対面作業では当たり前の情報が、グループウェア環境では欠けているという認識から出発した。まず存在感や実在感のアウェアネスを伝達するグループウェア環境の構築研究が起り、現在では対面環境以上の臨場感のアウェアネスを伝達するグループウェア環境を構築したいという研究開発が盛んに行われている。

このような中で筆者らの研究例[28]では、カードソートという手法を利用することによってユーザーのメンタルモデルを明らかにした上で、Web グループウェアにおけるサイト構成を決定するという手法を提案している。本研究によって、ユーザーのメンタルモデルを利用することにより、サイト内の位置アウェアネスを支援することができることが明らかになった。以下にこの研究例を紹介する。

本研究において、ユーザーのメンタルモデルを明らかにするために用いたカードソートと呼ばれる手法は、従来から新しいラベリングシステムを作成する際に利用されていた手法で、ユーザーがどのように情報を知るのかを把握するのが目的である。従来のカードソートでは、被験者に異なる内容の書かれたカードの並べ替えやグループ化を行ってもらい、その結果からコンテンツとラベルの関連性を評価するという手順をとるが、本研究においては、既存のグループウェアのユーザーに、使用して

いるグループウェアのコンテンツ名をカードに書き込んでもらい、書き込んだものを特定の用紙の上に配置していくという手順で行った。また、カード自体は、ユーザー自身が用紙を自由な大きさに切って作成するものとし、これによってユーザーが特定のコンテンツに対して他のコンテンツと比較してどれくらいの割合で認識しているのかということ、すなわちユーザーのメンタルモデルを把握できるようになった点において、従来から行われているカードソートとは異なっている (図 6)。



図 6. カードソートの例。

メンタルモデルとは認知工学や感性工学などの分野で用いられるもので、実際の機器やインタフェースの振る舞いをもとにユーザーが心的に作り上げる動作に関するモデルのことである。ユーザーが機器やインタフェースの振る舞いをもとに作り上げたモデルであるので、メンタルモデルに合致した機器・インタフェースを構築することはユーザビリティ向上に大きく貢献する。

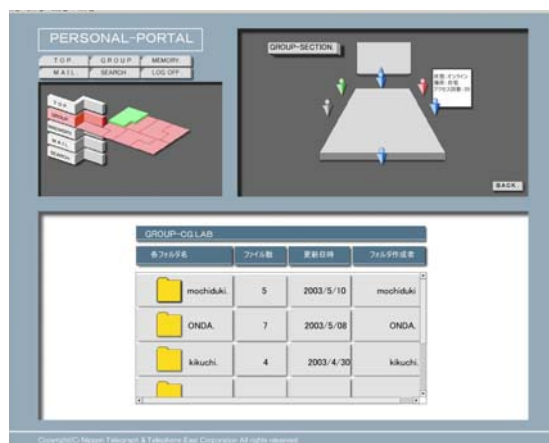
カードソートにおける、上下左右・前面背面の重なり具合、および各コンテンツの大きさから判明した、グループウェアにおけるユーザーのメンタルモデルを利用した新しい Web グループウェアのインタフェースデザイン案を図 7 に示す。

図 7 の新しいデザイン案では、ユーザーのメンタルモデルからコンテンツ階層、および操作フローを決定し、コンテンツ階層を 3 次元空間における立体として視覚化させることによって、ユーザーのサイト内における位置アウェアネス支援を行っている。さらに、各ユーザーの状態をアイコン表示させることによって他のユーザーへのアウェアネス支援を行い、グループワークの活性化を行うことを意図してデザインした。

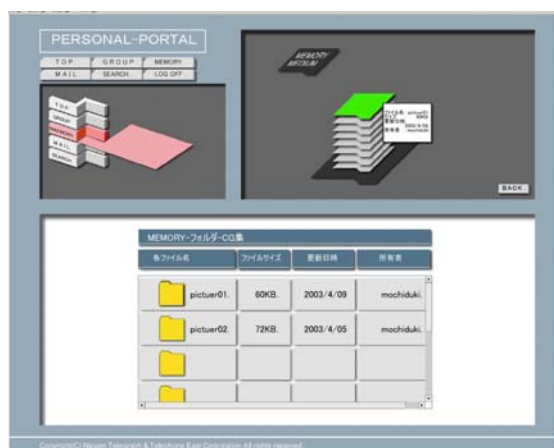
具体的には、左上にコンテンツ表示を 2 種類配置した。タグで表示されている 6 つのコンテンツ (TOP, GROUP, MEMORY, MAIL, SEARCH, LOG OFF) をそのまま下に立体表示させた。この立体化させたものは、カードソートから得たユーザーのメンタルモデルをもとに作成したものである。例えば、図 7(a) に示すように GROUP にある複数のどのグループに現在参加しているのかを視覚的に、かつ直感的に把握させるために立体化したものからフィールドを展開させ、コンテンツ内の項目を選択していくと、フィールド内でエリアが表示されるようになっている。

また、各コンテンツにおいても、人型アイコン (図 7(a) 参照) やファイル (図 7(b) 参照) などのメタファを利用したアイコンで機能内容を表示することで、ユーザーが直感的に認識しやす

いようにデザインを行った。



(a)



(b)

図7. Web グループウェアにおける新しいデザイン案例。

本研究では、新しくデザインされたグループウェアを用いて一定のタスクを課した脳波測定実験を行った。通常、Web サイトのインタフェースに限らず、様々なインタフェースでのユーザビリティチェックでは、ユーザーにアンケートをとる定性的な評価が行われることがほとんどである。しかしながら、定性的な評価では、実際にユーザーがインタフェースの操作性に関して評価しているとは必ずしも言い切れず、客観的な数値として現れる脳波実験のような定量的な評価が望まれるようになってきている。本研究では、新デザイン案においてアンケートによる定性的な評価と脳波実験による定量的な評価を併用した。ここでは評価の詳細を解説することは割愛するが、定性的な評価と定量的な評価を併用した点において、本研究は新規性、および信頼性が高いものとなっていると言える。

本研究において行った脳波実験では、新しいWeb グループウェアデザインでの一定タスクにおけるインタフェース操作において、リラックス値が増加しストレスを軽減できることが示された。

このことから、バーチャル空間であるWeb サイトのナビゲーションデザインにおいても、実世界の機器やインタフェースデ

ザインと同様に、ユーザーのメンタルモデルに則したデザインを構築することが有効であることが示唆されている。なぜならば、ユーザーは新しいインタフェースに出会うと少なからずストレスを感じるものである。しかし、インタフェースデザインにおいてユーザーのメンタルモデルとの整合性がとれている場合、インタフェースの操作に慣れるのに時間を必要とせず、ユーザビリティの向上に役立つと考えられる。すなわち、本研究のようなグループウェアとしてのWeb サイトに限らず、既に存在するWeb サイト全般においても、サイトの再構築やリデザインを行う場合などにユーザーのメンタルモデルを利用することが有効な手段になることが予想される。

3.4 Web ナビゲーションのための情報デザインの今後の展望

以上、これまでにWeb ナビゲーション技術における情報デザインを「レイアウト指向」、「実世界指向」、および「ユーザーのメンタルモデルを利用」の3つに分類し、それぞれに関して解説を行った。もちろん、ここでの分類方法、および取り上げた研究・実践例などは筆者が選択したものであって読者によっては異論があるかもしれない。それは、Web ナビゲーションのデザインに限らず、様々な人工物の「形」においては、ただひとつの最適解というものも存在せず、多様な解、しかも時代と共に変化し続ける解があり、それをつくり続けるのがデザイン活動であるがゆえに、それを顧みる解釈の仕方にも多様な解が存在して当然である。それが例えばバーチャル空間におけるWeb サイトのようなデザインであっても同様のことが言えるだろう。

Web サイトナビゲーションにおける情報デザインは今後、時代と共に変化し続ける多様な解を導くために、先に述べた「レイアウト指向」、「実世界指向」、および「メンタルモデルの利用」がケース・バイ・ケースで融合されながら利用されていこう。また、ユーザー個々のニーズに対してWeb サイトナビゲーションをカスタマイズしていくようなシステム、およびデザイン手法の構築が求められることが予想される。

4. Web ナビゲーション技術と情報視覚化

本章ではWeb サイトをナビゲートするための情報視覚化技術を、その用途や表現スタイルから数種類に分類して紹介する。まず、Web サイトの全体像を見せることでユーザーをナビゲートするための、木構造視覚化、リンク視覚化、実空間指向視覚化、の各手法を紹介する。続いてユーザー自身のアクセス履歴をもって、ユーザーが反復的にアクセスしたいWeb ページへの誘導を図る、アクセス履歴視覚化手法を紹介する。続いて、ユーザーよりもWeb サイトの設計者、管理者、分析者などを対象としたWeb サイト視覚化手法について論じる。さらに、これらの紹介例を通して、情報視覚化技術の最近の動向について論じる。

4.1 Web サイトの木構造の視覚化

Web サイトの開発者は、ユーザーのWeb ページの閲覧順を想

定しながら Web サイトを開発することが多い。このような Web サイトにおいては、開発者の意図した順序にしたがって Web ページを閲覧してもらえらるるよう、Web サイトを誘導する情報を提供することが重要である。これを目的とするナビゲーション手段として Web サイトをトップページから順にアクセスする道順を示すことがあげられる。あるいは、Web サイトの全体的な構成図を先に見せておいて、その中からユーザーにアクセスしたいページを選択させるというアプローチも考えられる。どちらのアプローチにしても、Web サイトの構成や構造を視覚的にユーザーに提示することが重要である。このとき一般的に、Web サイトを視覚的に提示する構成図をサイトマップと称することが多い。

サイトマップを画面表示するという形で Web サイトのナビゲーション技術を商用化している企業には、例えば Inxight 社 [29] や Dynamic Diagrams 社 [30] などがある。このような商用サイトマップの多くは、Web サイトにて公開されている Web ページ群の構成を、木構造で表現している。このとき Web ページ群を木構造で表現するためには、Web ページの URL のディレクトリ階層を参照するか、あるいはトップページからの最短経路を構成するか、のどちらかの考え方をを用いることが多い。

これらの商用化技術のベースとなっている技術は、木構造の情報視覚化技術である。Inxight 社の技術は、Hyperbolic Tree [31] という手法を用いて、トップページを根にした Web サイトの階層構造を表現している。この技術は、ユーザーの対話操作に連動した局所ズームによる詳細表示を実現しており、まるでサイトマップの上で虫眼鏡を動かしているような感覚で詳細表示を操作できる点が面白い。Dynamic Diagrams 社の技術は、MAPA [32] という手法を用いて、Web ページを階層構造にしたがって縦横に並べる表現を用いて、ユーザーの対話操作にしたがって上位階層から下位階層へ段階的に移動できる操作機能を提供している。この手法は、まるで図書館の本棚のように整然と Web サイトを表現しており、スマートな印象を与えている。3.2 節にて図 2 に示したメンデル遺伝博物館の Web サイトも、これに類似した手法で表現されている。

木構造や階層構造を表現する情報視覚化手法は、Web サイトのナビゲーションに限らず、非常に多くの目的を意識して、非常に多くの手法が報告されている [31,32,33,34,35]。この背景として、木構造や階層構造で表現される情報が、Web サイトに限らず日常生活に広く存在するから、という理由があげられる。例えば会社組織には部、課、係という階層構造があり、大学組織には学部、学科、研究室という階層構造があり、自治体には都道府県、市町村、区、町会、という階層構造がある。このように、日常生活に多く存在する情報構造であるがゆえに、情報視覚化のニーズが高いということが、他の手法に比べて実用化の進んでいる一因であると考えられる。

4.2 Web サイトのリンク構造の視覚化

Web ページ間には多数のリンクが存在する。これを効果的に提示できれば、ユーザーがどのような手順で Web サイトをアクセスすればいいかというナビゲーションが可能になる。しかし

必ずしも、Web ページ間のリンクは 4.1 節で紹介した木構造で表現できるとは限らない。より一般的に考えると、Web ページ間のリンク構造は一種のグラフ構造であると考えられるので、グラフ構造の視覚化手法を適用することで、Web ページ間のリンク関係を視覚化することができる。このような考え方をを用いて Web サイトの構造を表現している情報視覚化手法も、すでに多く報告されている。

一般的に Web サイトの研究においては、リンク数の多い Web ページが重要なページである [36] といわれることが多い。著名な Web 検索エンジン [11] においても、リンク数をもって Web ページの重要度を評価している。よって Web サイトのリンク構造を視覚化することは、Web サイト中の重要な部分を理解させる、という目的において一定の効果があると考えられる。

グラフ構造の視覚化技術を Web ページ間のリンク構造の視覚化に適用した一例として、力学モデルを用いたグラフ構造の自動画面配置手法を用いた手法が報告されている [37]。一方、自動配置ではなく対話的操作によってグラフ構造を理解させる視覚化手法も多く報告されている。塩澤らは、あらかじめ平面上に配置されたノードを持ち上げる操作によって、特定のウェブページのリンク関係を対話的に視覚化する手法を提案している [38]。この手法は、Web ページを表す小球体を持ち上げると、その小球体に連結された他の小球体が糸を引くように持ち上げられる様子から、「納豆ビュー」と名づけられており、その名前の面白さもあって新聞等にも多数紹介された。

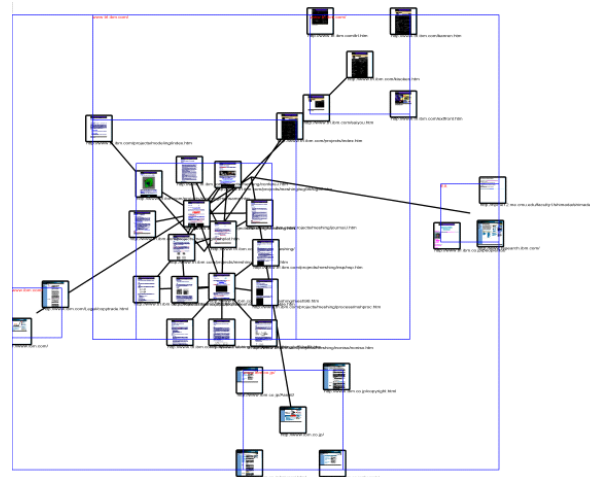


図 8. Web サイトのリンク構造の視覚化例。(文献[39]より引用。)

このようにして、過去にいくつかのリンク構造視覚化手法が報告されているが、残念ながら実用化に到達している例は少ない。その理由として以下の点が考えられる。まず Web ページ間のリンク構造は極めて不均一な密度を有する傾向にあり、情報視覚化の題材として難易度が高いことがあげられる。もう一つの理由として、グラフ視覚化手法の多くは 3 次元グラフィックス技術に頼っているが、3 次元グラフィックス向けのスキルや設備を必須とする技術は一般ユーザーには敷居が高い、という

ことがあげられる。この件はリンク構造視覚化に限らず、情報視覚化技術全般に観察できる傾向である。このことから情報視覚化においては、3次元グラフィックスよりも2次元グラフィックスをベースにした手法のほうが普及しやすい、という傾向があることは否めない。この傾向は3.2節にも論じたとおり、情報視覚化のみならず、情報デザインの分野においても同様に見られる。

グラフ構造の視覚化技術は、一般的に3次元的手法よりも2次元的手法のほうが、難易度が高いと言われている。土井らは、Webサイトのリンク構造に2次元グラフ視覚化手法を適用した事例を報告している[39]。図8にその表示例を紹介する。

4.3 実空間指向の Web サイトナビゲーションのための視覚化手法

3.2章にて実空間指向の情報デザイン技術を紹介したが、同様な研究は情報視覚化の研究としても議論が進んでいる。仮想空間にWebページを配置する視覚化手法の例として、仮想図書館や仮想庭園にWebページを配置する手法[40,41]が報告されている。この技術は、どのようなデザインが人間の感性に訴えるかという情報デザインとしての議論と、どのようなユーザーインタフェース技術がナビゲーションを支援できるかという情報視覚化としての議論の、両面にわたる横断的な研究分野であるといえる。

この技術も4.2節で紹介した技術と同様に、3次元グラフィックス技術やユーザーインタフェース技術を多用することから、情報視覚化技術としての実用にはまだギャップがある。しかし、コンピュータに精通していない一般ユーザーの興味を引くには、非常に魅力的なアプローチであることには間違いない。特に昨今ではWebの普及に伴うデジタルデバイス対策やアクセシビリティ対策が話題となっており、その解決手段としての有効性が期待される。それに例えば、今後もファミコンのように、3次元グラフィックス技術やユーザーインタフェース技術が極度に発達した機器を用いたWebへのアクセスが普及すれば、現時点の問題点は一気に解決することも予想される。

4.4 個人の Web アクセス履歴の視覚化手法

4.1章~4.3章では、Webサイトの構成を視覚的に紹介するナビゲーション技術を紹介してきたが、これらの技術は主に、Webサイト設計者の意図とおりにユーザーを誘導する意義をもっている。しかし多くのユーザーにとって、Webサイトのトップページから幅広く枝分かれするWebページ群を全て閲覧することは少ない。むしろユーザーごとに固有のWebページを繰り返し閲覧する、という用途のほうが多いように思われる。このような用途から考えると、必ずしもWebサイト設計者が提供するナビゲーション技術が最善のナビゲーション技術とは限らない。むしろユーザー自身によるアクセス履歴をナビゲーションとして用いることが有用である。そこで、ユーザー個人によるWebのアクセス履歴を表現する情報視覚化手法が多く報告されている。

代表例として、個人がアクセスしたWebページ群をアイコン

やサムネイルとして表現し、それをアクセス順に線で結んでグラフ表示する手法 [42,43,44] が多く報告されている。これらの手法は、Webブラウザの「進む」「戻る」ボタンだけではカバーしきれないユーザー個人のWebアクセス履歴を適切に網羅する手法であると考えられる。

これらの手法は、ユーザー自身の利用履歴をもって、情報視覚化によって提示する情報そのものをカスタマイズする手法、という視点から考えると興味深い。同様な視点からの技術は、Webナビゲーション技術以外の分野においても適用可能であると考えられる。

4.5 Web サイトのアクセス統計の視覚化手法

4.1章~4.4章では主に、個人ユーザーを対象として、Webサイトの情報視覚化手法を紹介してきた。これとは別に、Webサイトの設計者、管理者、分析者などを対象とした、専門業務目的のWebサイトナビゲーションとして情報視覚化手法を用いることが考えられる。このような専門業務においては、ユーザーフレンドリーという要素はあまり重要ではない。むしろ親しみやすさを求めて情報をデフォルトにしてしまうと、それが不正確な情報として管理者や分析者に解釈される可能性がある。それゆえに、このような専門業務目的の情報視覚化では、むしろ棒グラフ・折れ線グラフ・帯グラフといった無味乾燥な情報提示手法のほうが有効である場合が多い。

Webサイトの設計者、管理者、分析者などを対象とした、専門業務目的の情報視覚化では、Webページそのものを視覚化するというより、そのアクセス統計やネットワーク負荷などの情報が重要である。Pitkowら[45]やChiら[46]は、4.2章で紹介したグラフ視覚化手法を適用してWebサイトを表現し、その上にアクセス数の集計結果を重ねた視覚化手法を報告している。Haoら[47]は単純な球体の集合で、Webサイトにアクセスするユーザーの行動とウェブページの相関性を分析するための抽象表現手法を報告している。Axelsson [48]は、Parallel Coordinateという折れ線グラフを用いて、Webサーバーのアクセスログに記録された属性の相関性を視覚化する手法を報告している。このように、専門業務目的の情報視覚化では、親しみやすさを求めるよりも、無味乾燥な表現手段を用いる事例が多い。これはWebサイトの専門業務のための情報視覚化に限らず、情報視覚化全般に該当する傾向であるといえる。

近年の代表的な事例として、山口らの手法 [49,50] を図9で紹介する。この事例では、数千個のWebページを保有する大規模なWebサイトに対して、4.1章で紹介した階層構造の情報視覚化手法 [35] を用いてサイトマップを表現している。さらに、そのWebサイトのアクセス統計を表現するために、サイトマップを用いて数千本の棒グラフをたてる、という単純なアイデアながらも難易度の高い視覚化を実現している。このような無機的な表現により、数千ページを保有する大規模なWebサイトにおいて、個々のページにわたるまでアクセス傾向を理解する、という高性能なWebサイト分析を実現できる。



図9 Web サイトのアクセス傾向の視覚化例。(文献[50]より引用。)

5. むすび

本論文では、Web ナビゲーション技術に用いられている情報デザインおよび情報視覚化の各手法を紹介した。

Webナビゲーション技術に用いられている情報デザイン手法の特色を以下に示す。

- デザイナー、すなわち人間が主導となって情報を表現する情報デザインにおいて、Web ナビゲーションはレイアウト指向によるユーザビリティ向上を目指したデザインコンセプトと、様々な人間の認知、またはメタファ要素を利用した実世界指向型のデザインコンセプト、およびそれらを融合した形のユーザーメンタルモデルを利用したデザインコンセプトがある。
- レイアウト指向の Web サイトナビゲーションでは、ユーザビリティに配慮した 2 次元的なレイアウト展開となる傾向が強い。そのため、アピアランスの観点からのデザインオリジナリティは発揮しにくい傾向にある。
- 実世界指向の Web サイトナビゲーションでは、様々な表現手法が試みられ、デザインオリジナリティも高くなる傾向にあるが、その反面、特殊なブラウジングプラグインソフトを必要とする場合があることや、ユーザビリティという観点から考えた場合にはユーザーに対する敷居も高くなる傾向がある。
- 認知工学や感性工学で用いられるユーザーのメンタルモデルにもとづいたデザイン手法を提案した研究例がある。これは、カードソートという手法を用いて、ユーザー自身が気づいていない可能性のある概念モデルを表象化させデザインに利用するという点において、非常に興味深い。しかしながら、Web サイトナビゲーションデザインを実施するに当たり、非常に多くの事前調査と入念な分析を必要とするなど、デザイン開発に時間を要する点において問題があることは否めない。
- いずれのデザインコンセプトにもとづく Web サイトナビ

ゲーションにおいても、デザイナーの幅広い知識、共同作業を行う技術者などとのコミュニケーション能力などは必要不可欠となっている。

Webナビゲーション技術に用いられている情報視覚化手法の特色を以下に示す。これらの特色はどちらかといえば、Web ナビゲーションに限らず、情報視覚化全般にわたる最近の動向であると言うことができる。

- Web ナビゲーション技術の分野では、Web サイトの全体像を木構造で表現する手法の実用化が進んでいる。同様な傾向として、Web ナビゲーション技術以外の情報視覚化についても、木構造を表現する手法の実用化が進んでいる。この一因として、木構造や階層構造が、日常生活や日常業務に非常に多く見られるデータ構造であるから、という理由が考えられる。
- Web ナビゲーション技術の分野では、3 次元 CG 技術を駆使した情報視覚化手法も多く発表されているが、実用化の観点ではあまり進んでいない。この傾向も同様に、Web ナビゲーション技術以外の情報視覚化においても見られる。この一因として、情報視覚化のユーザーは 3 次元 CG のスキルや設備を持っていない事例が多く、むしろ 2 次元 CG 技術を用いた情報視覚化技術のほうが歓迎される傾向にある、ということを実証している。
- Web ナビゲーション技術において、ユーザーのアクセス履歴を活用する手法が多く発表されている。これはユーザー自身の利用状況をもって情報視覚化そのものをカスタマイズする手法の一つ、という視点から考えると興味深い。同様な視点からの情報視覚化手法は、Web ナビゲーション技術以外の分野においても適用可能であると考えられる。
- 情報視覚化はユーザーフレンドリーな技術としての側面が強く見られがちだが、専門業務においてユーザーフレンドリーな要素は必ずしも重要ではない。例えば Web サイトの管理者や分析者などのような専門家向けのナビゲーション技術に代表されるように、むしろユーザーフレンドリーな要素を抑えた、機械的な視覚表現が歓迎される実用化事例もある。

情報デザインと情報視覚化は、それぞれ全く異なる専門性から出発した研究分野であるが、最近では両者の融合の兆しも見えている。例えば 3.2 節および 4.3 節に紹介した実空間指向の情報表現技術は、情報デザインのもつ感性的な要素と、情報視覚化のもつ工学的な要素の、両者を利用した技術であるといえる。また 3.3 節で紹介したメンタルモデルを用いた情報デザイン技術も、グループウェアとしての要素を最大限に活かすための展望として、蓄積された情報を自動的に提示する情報視覚化技術の併用が有効に働くことが予想される。

このように、情報デザインおよび情報視覚化の今後の展望として、両者の融合という大きな目標を掲げることができると考えられる。そしてその達成のためには、デザイナーやアーティストによる感性的な議論と、コンピュータ開発者による技術的な議論の、融合の場が必要不可欠であると考えられる。

参考文献

- [1] Wildbur P., Burke M., 猪俣監修, 図説インフォメーショングラフィックス-情報をデザインするための法則と事例, エムディエヌコーポレーション, ISBN4-8443-5554-6, 2000.
- [2] 情報デザインアソシエイツ編, 情報デザイン-分かりやすさの設計-, グラフィックス社, ISBN4-7661-1290-3, 2003
- [3] 渡辺保史, 情報デザイン入門-インターネット時代の表現術, 平凡社, ISBN4-5828-5096-0, 2001
- [4] Robert Jacobson, Information Design, Massachusetts Institute of Technology, ISBN4-501-53660-8, 1999.
- [5] 安西, 浜田, 小澤, 中谷, 岡田, 黒須, 情報の創出とデザイン, 岩波講座マルチメディア情報学 9, ISBN4-00-010969-3, 2000.
- [6] Card S. K., Mackinlay J. D., Shneiderman B., Reading in Information Visualization: Using Vision to Think, Morgan Kaufmann, ISBN1-55860-533-9, 1998.
- [7] Chen C., Information Visualization and Visual Environments, Springer, ISBN1-85233-136-4, 1999.
- [8] Ware C., Information Visualization: Perception for Design, Morgan Kaufmann, ISBN1-55860-511-8, 1999.
- [9] 小池, ビジュアライゼーション, bit 別冊ビジュアルインタフェース -ポスト GUI を目指して-, 第 2.1 章, pp.24-44, 共立出版, 1996. (<http://www.vogue.is.uec.ac.jp/~koike/bit/bit.html> にも掲載されている)
- [10] Moore's Law, <http://www.intel.com/research/silicon/mooreslaw.htm>
- [11] Google Inc. <http://www.google.com/>
- [12] Kahn P., Lenk K., 木村訳, Web サイトマッピングプロフェッショナルガイド〜サイト設計の考え方, 作り方, IDG ジャパン, ISBN4-87280-432-5, 2001.
- [13] Kinross R., Conversation with Richard Hollis on graphic design history, Journal of Design History 5 (1), pp.73-90, 1992.
- [14] Sless D., What is information design?, Designing Information for People, pp.1-16, Canberra: Communication Research Press., 1994.
- [15] 宮田, 伊藤, コミュニケーションツールとしての CG, 芸術科学会論文誌, Vol. 2, No. 2, pp. 74-82, 2003.
- [16] <http://www.smartmoney.com/>
- [17] Johnson B., Shneiderman B., Tree-Maps: A Space Filling Approach to the Visualization of Hierarchical Information Space, Proceedings of IEEE Visualization '91, pp. 275-282, 1991.
- [18] 矢野りん, Web レイアウト見本帳-Web Layout Style Book-, エムディエヌコーポレーション, ISBN4-8443-5630-5, 2002
- [19] Miho MATSUMOTO, Shigeki YOKOI, Takami YASUDA, A Research of Information Architecture and Design Methods for Academic Society's Website, 芸術科学会論文誌, Vol.1, No.3, pp.125-131, 2002
- [20] IconMedialab Iberia, Spain, The Camper E-Shop: Building an On-line Presence, Information Design Source Book, pp.70-75, 2003.
- [21] Sony Bank, Japan, MONEYKit by Sony Bank : Interface for On-line Services, Information Design Source Book, pp.60-61, 2003.
- [22] http://www.newsmaps.com/index_new.php
- [23] Kahn+Associates, France, Mendel Museum of Genetics: Designing a Web Extension, Information Design Source Book, pp.238-241, 2003.
- [24] Furuya S, Kijima. A, Okazaki A, Kikuchi T, Kudo Y, Experience Design & Experience Visualization, 6th Asian Design International Conference Who's Who in Design, pp.8-9, 2003.
- [25] 菊池, 岡崎, 感性と情報の融合を目指したデザイン学研究, 平成 16 年度日本デザイン学会第 51 回研究発表大会学生作品プロジェクトセッション, pp.14-15, 2004.
- [26] 菊池, 工藤, 岡崎, 木嶋, 古屋, デザイン領域の新しい広がりとしての Experience Design, 芸術科学会論文誌 Vol.3, No.1, pp.35-44, 2004
- [27] 國藤, 加藤, 門脇, 敷田編著, 知的グループウェアによるナレッジマネジメント, 日科技連出版社, ISBN4-8171-6135-3, 2001
- [28] 望月, 菊池, 岡崎, Web グループウェアにおける視覚情報とウェアネス支援に関する研究, 2003 画像電子学会第 31 回年次大会, pp.53-54, 2003.
- [29] <http://www.inxight.com/>
- [30] <http://www.dynamicdiagrams.com/>
- [31] Lamping J., Rao R., The Hyperbolic Browser: A Focus+context Technique for Visualizing Large Hierarchies, Journal of Visual Languages and Computing, Vol. 7, No. 1, pp. 33-55, 1996.
- [32] Durand D., et al., MAPA: A System for Inducing and Visualizing Hierarchy in Web sites, Proceedings of the International Conference on HyperText '98, pp. 66-76, 1998.
- [33] Koike H., Fractal Views: A Fractal-Based Method for Controlling Information Display, ACM Transaction on Information Systems, Vol. 13, No. 3, pp. 305-323, 1995.
- [34] Rekimoto J., Green M., The Information Cube: Using Transparency in 3D Information Visualization, Proceedings of the Third Annual Workshop on Information Technologies & Systems, pp. 125-132, 1993.
- [35] Itoh T., Yamaguchi Y., Ikehata Y., and Kajinaga Y., Hierarchical Data Visualization Using a Fast Rectangle-Packing Algorithm, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Vol. 10, No. 3, pp. 302-313, 2004.
- [36] Broder A., et al., Graph Structure in the Web, Proceedings of the 9th international World Wide Web conference, pp. 309-320, 2000.
- [37] Hendley R. J., Drew N. S., Wood A., Beale R., Narcissus: Visualizing Information, In Proceedings of IEEE Information Visualization '95, pp. 90-96, 1995.
- [38] 塩澤, 西山, 松下, 「納豆ビュー」の対話的な情報視覚化における位置付け, 情報処理学会論文誌, Vol. 38, No. 11, pp. 2331-2342, 1997.
- [39] 土井, 伊藤, 力学モデルを用いた階層型グラフデータ画面配置手法の改良手法とウェブサイト視覚化への応用, 芸術科学会論文誌, Vol. 3, No. 4, pp. 250-263, 2004.

- [40] Card S. K., Robertson G. G., and York W., The WebBook and the Web Forager: An Information Workspace for the World-Wide Web, Proceedings of ACM SIGCHI '96, 1996.
- [41] Crossley M., Davies J., Taylor-Hendry R., and McGrath A., 3D Internet Developments, BT Technology Journal, Vol. 15, No. 2, p179, 1997.
- [42] Ayers E., Stasko J., Using Graphic History in Browsing the World Wide Web, Proceedings of 4th International World Wide Web Conference, pp. 451-459, 1995.
- [43] Frecon E., Webpath -- A Three Dimensional Web History, Proceedings of IEEE Information Visualization '98, pp. 3-10, 1998.
- [44] Bederson, B.B., Hollan, J.D., Stewart, J., Rogers, D., Vick, D., Ring, L.T., Grose, E., Forsythe, C., A Zooming Web Browser, Human Factors in Web Development, Lawrence Erlbaum Association, pp. 255-266, 1998.
- [45] Pitkow J., Bharat K., Webviz: a Tool for World Wide Web Access Log Analysis, Proceedings of the 1st International Conference on the World Wide Web, pp. 271-277, 1994.
- [46] Chi E. H., Card S. K., Sensemaking of Evolving Web Sites Using Visualization Spreadsheet, Proceedings of the 1999 IEEE Symposium on Information Visualization, pp. 18-25, 1999.
- [47] Hao M. C., Garg P., Dayal U., Machiraju V., Cotting D., Visualization of Large Web Access Data Sets, Proceedings of the symposium on Data Visualisation 2002, pp. 201-208, 2002.
- [48] Axelsson S., Visualization for Intrusion Detection Hooking the Worm,' Proceedings of the 8th European Symposium on Research in Computer Security, pp. 309-325, 2003.
- [49] Yamaguchi Y., Itoh T., Ikehata Y., Kajinaga Y., Interactive Poster: Web Site Visualization Using a Hierarchical Rectangle Packing Technique, IEEE Information Visualization Symposium, 2002.
- [50] 山口, 伊藤, 池端, 梶永, 階層型データ視覚化手法「データ宝石箱」とウェブサイトの視覚化, 画像電子学会論文誌 Visul Computing 特集号, Vol. 32, No. 4, pp. 407-417, 2003.