

情報可視化システムにおける適応的インタラクション

Adaptive Interaction in Information Visualization Systems

角 康之*
Yasuyuki Sumi

* (株) エイ・ティ・アール 知能映像通信研究所
ATR Media Integration & Communications Research Laboratories, Kyoto 619-0288, Japan.

1998年11月16日 受理

Keywords: information visualization, human-computer interaction, adaptation.

1. はじめに

情報可視化 (Information visualization) とは、本来は目に見えない情報や情報要素間の関連を可視化する技術のことであり、コンピュータシステムとユーザの間のインタラクションを成立させるための有効な手段の一つである。コンピュータのグラフィクス機能の向上にともない、我々は日々当たり前のように情報可視化技術を利用するようになってきている。例えば、今日多くのオペレーティングシステムが採用しているデスクトップメタファは情報可視化手法の典型例である。

日々の思考活動や社会活動においてコンピュータシステムを利用する場面が多くなるにつれて、コンピュータで扱う情報やデータは多様かつ大量になり、同時に、それを利用するユーザの数、種類、技能、利用目的も多様になってきた。そのため、どのような状況でも、そしてどのようなユーザを相手にしていても同じふるまいをしているシステムでは、多種多様なユーザに対して、正確で効率よいインタラクションを提供することが困難になってきている。したがって、それを解決する一アプローチとして、システムに、ユーザや状況に合わせてインタラクションの方法やふるまいを自律的に適応する能力を持たせる技術への期待が高まっている。

本稿では、情報可視化システムにおける適応的インタラクションに関する研究事例を紹介し解説する。まず2章で、本論の背景となる情報可視化システム研究の概要を紹介する。3章では、適応的インタラクションを

実現するために必要不可欠な技術である、タクスに応じた可視化インタフェースの設計に関する研究事例を紹介する。4章では、情報オブジェクトの空間配置に基づいた情報システムを取り上げ、その適応的インタラクションについて解説する。5章では、HCI (Human-Computer Interaction) 研究の中での情報可視化技術の位置づけを議論する。

2. 情報可視化システム研究の目的と背景

情報可視化システム研究についての詳細な解説や開発事例のサーベイは、既に多くの優れた記事があるので (例えば, [Card 96, 藤代 97, 小池 96] を参照されたい), 本稿では情報可視化システムの適応的インタラクションの側面に的を絞った解説と議論を行ないたい。その前に、簡単にこれまでの情報可視化システムの研究開発を概観しよう。

従来は可視化 (Visualization) と言えば、スーパーコンピュータで処理された科学的データやシミュレーション結果をコンピュータグラフィクスを利用して表示する Scientific visualization を指すのが一般的だった。それに対し、可視化の対象を科学的データに限らず、一般的な HCI の手段として可視化技術を使うといった意味で、Xerox PARC の Card らのグループは Information visualization (情報可視化) という言葉を導入し、精力的に数々の情報可視化システムを開発している [Card 91, Robertson 93]。

Scientific visualization と比較すると、情報可視化

は以下のように特徴づけられる [Gershon 97].

- 科学的データではなく抽象的な情報の構造可視化を目的とする.
- 多くの場合, 本来は空間的な構造を持たない情報に潜む構造を明らかにするために, 空間構造化を施す.
- 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.

また, 情報可視化技術は, 単にコンピュータが処理した結果を見るだけの手段ではなく, 情報を利用するための手段である, というのが情報可視化システムを開発している研究者の共通した認識である. つまり, コンピュータによる処理結果を可視化情報としてユーザに提示するだけの一方向の作用でなく, ユーザが可視化情報に直接操作を施し自ら情報空間を探索・操作できるような双方向の作用を提供する環境の構築を目指している.

そういった共通認識に一つの具体的な指針を与えたのが, Shneiderman [Shneiderman 83] による直接操作 (Direct manipulation) という概念である. 直接操作の基本的な考えは以下の通りである.

- ユーザは複雑なコマンド言語のかわりに, オブジェクトの直接操作やメニューの選択によりシステムと対話する.
- そのときの作業に関係する視覚的オブジェクトを操作対象としてユーザに提示する.
- これらの操作は敏速に, 可逆的に, 漸進的に行なわれ, その結果は直ちに視覚的な変化としてみることができ.

初期に開発された情報可視化技術の中で特に著名であり, かつ, その後の研究に影響を与えた具体例としては, 魚眼レンズ的な歪み表示を利用して注視点とその周辺表示の両立を試みた Fisheye Views [Furnas 86], インタラクティブな3次元アニメーションを利用して情報可視化に時間の軸を導入した Perspective Wall [Mackinlay 91], 階層構造を持った情報空間へのアクセス効率の向上を目指した Cone Tree [Robertson 91], ズームを利用することで仮想的に無限大のデスクトップ上での連続的情報アクセスを可能にした Pad [Perlin 93] などがあげられる.

これらに共通した目標は, 限られた画面上で, 大きく複雑な情報空間に効率よく正確にアクセスできる環境を実現することである. その際, 注視点だけでなく, 関連する部分や文脈を見失わないように, 注視点とその周辺を同時に表示すること, そして, 焦点の移動を連続的に行なえるようにすること, というのが主な具体的課

題になってきた. そういった意味では, 現状の WIMP (Windows, Icons, Menus, Pointing devices) パラダイムやハイパーリンクに基づいたシステムでは, クリックやメニュー選択によって非連続的に別の場所に焦点が移ってしまうが, 情報可視化システム研究はそういったパラダイムからの脱却を目指している, と見ることができる.

3. タスクに応じた情報可視化インタフェースの設計

本章では, タスクに応じて可視化効果を上げる情報可視化インタフェースを設計することを目指した研究事例を紹介する. ここで紹介する研究事例の現状は, あくまでも情報可視化システムを設計するのはユーザ自身であり, システムは知識工学的な手法を用いてその作業を支援する, というものである. しかし長い目で見た目標は, タスクに応じた情報可視化システムを自動生成することであり, それは, ユーザのタスクや状況の変化に応じて可視化表現を使い分けた適応的インタラクションを実現するには欠くことのできない技術であると考え.

3・1 可視化インタフェースのプロトタイプ支援

上記の課題に対するサブゴールの一つは, 与えられたデータ群を最も効果的に可視化する表現をデザインする, ということになる. この分野での先駆けに, Mackinlay [Mackinlay 86] による APT と呼ばれるシステムがある. 彼は, 情報を可視化する際に利用される可視化プリミティブ (グラフ表現のためのプロット, バー, アイコン, リンク等とそれらの色, 形などの属性) と, 可視化表現のデザインに必要な以下のような知識を整備した.

表現基準 望みの情報を表現することのできる可視化プリミティブを選ぶ判断基準.

効果基準 与えられた状況で最も効果的にデータを可視化できる可視化プリミティブを選ぶ判断基準.

合成ルール 可視化プリミティブの合成則.

上記の知識を利用し, APT は以下の手順で可視化表現の自動生成を行なった.

- (1) 入力データセットをサブセットに分割する. これは関係データベースの機能分割に基づいて行なわれる.
- (2) サブセットごとにふさわしい可視化プリミティブを選択する. これは表現基準と効果基準に基づいて決定する.

(3) 合成ルールを選んで、可視化技法を合成し最終的な可視化を行なう。

Senay と Ignatius [Senay 94] は、APT が 2 次元の可視化表現だけを対象としたのに対し、Mackinlay のアプローチを踏襲して 3 次元可視化表現のデザインシステム Vista を構築した。また、ユーザがインタラクティブにシステムの提示する可視化表現を修正できるような対話性を導入し、さらに一步、適応的インタラクション実現へ近づいた。

Roth ら [Roth 94] も、インタラクティブに情報可視化インタフェースをプロトタイプするための知識処理システム SAGE を構築している。SAGE の特徴は、Mackinlay の手法を継承したプロトタイプングツールに加え、過去の成果（それまでにプロトタイプした情報可視化インタフェース）のブラウザを援用し、一般的知識と事例知識の二面からデザイナーの知識増幅を試みた点である。彼らはさらに、SAGE を情報可視化部分のデザインサーバとして位置づけ、ユーザの情報探索作業を統一的に支援する環境 Visage の構築を目指している [Roth 96]。

3・2 ユーザの可視化意図への適応

上述のシステムは、ユーザが情報可視化システムをプロトタイプする作業を支援するものであるが、ユーザは可視化表現のための個々の手法やその効果を意識する必要がある。より抽象的なレベルでユーザの意図を推察し、それに適した可視化表現を自動生成するには、ユーザの意図 (What) を具体的な可視化手段 (How) にブレークダウンする技術が求められる。

Zhou と Feiner [Zhou 98] はそのための一手段として、可視化技法の分類を行なった。例えば、“Focus” という表現意図を具体的な表現技法へ変換することを考えたとき、“Enlarge” で実現するのが相応しい場合もあれば、“Highlight” が相応しい場合もある。このような抽象度の高い表現意図と抽象度の低い表現技法の知識の仲介を目指して、彼らは多段階の階層構造を持つ知識分類を行なった。それを利用して、例えば、病院での患者情報管理のための情報可視化インタフェースのプロトタイプにおいて、看護婦用のインタフェースと医師用のインタフェースを作り分けることが簡易化されたと報告している。つまり、看護婦は患者に関する情報を患者の体の位置と関連づけて一目で見たい、という傾向があるので、そのような可視化意図をシステムに伝えると、人間の体が表示され、それらの各部位から情報表示が行なえるような画面を設計することができる。一方、同じ情報でも、医師は時間の流れに

応じた状況変化を見たいので、3次元グラフを基盤とした可視化がなされる。

Ishizaki [Ishizaki 96] はユーザとシステムが対話的に情報可視化システムのデザインを行なえる環境を構築するために、マルチエージェントモデルを採用した。基本的なアイデアは、ターゲットシステムを構成する情報単位をエージェントと見なし、それらの集団的ふるまいとして情報可視化システムの機能を実現する、というものである。上述してきた研究における可視化プリミティブに比べ、エージェントは機能の粒度や単位間の関連に関する記述の抽象度が高い。したがって、ユーザの興味や時間といった文脈の動的な変化に反応して、自身のふるまいや他エージェントとの関連を自律的に変化させることができる。このことは、ユーザと情報可視化システムの間での動的なインタラクションを扱うことを可能にし、また、文脈変化に対して柔軟な分散協調システムの構築を容易にする。

4. 空間配置を利用した情報システムにおける適応的インタラクション

人の思考や記憶は空間的な配置に頼ることが多い。本章では、システムが扱う情報オブジェクト（仮想カード、検索対象となる論文、キーワード等）のアイコン集合をディスプレイ上に空間配置することで情報空間を可視化するような情報システムを取り上げ、その適応的インタラクションについて見てみる。

4・1 発想支援システム

日本では「発想支援」という名のもとに、人間の知識整理やアイデア生成を支援する情報システムの構築が数多く試みられてきた [國藤 93]。その中には、情報空間の可視化技術を利用したものが多くある。

特に、KJ 法^{*1}をベースにしたシステムが数多く開発されてきた。例えば、三末と杉山 [三末 94] による D-ABDUCTOR は、カードのグループ構造を階層的複合グラフとして自動描画する手法や、魚眼レンズの描画を自動化する手法といった情報可視化技術を用いて、ユーザの KJ 法作業を支援する。

一方、東京大学の堀らのグループは、統計的手法を用いた概念空間（ユーザの頭の中に浮かぶ未整理な情報空間）の可視化を技術的軸にして、数多くの発想支援システムを提案している。彼らの発想支援システムの特

*1 アイデアの断片が書かれたカードのグルーピング作業を体系立てた思考法 [川喜田 67]。

徴は、システムが可視化した概念空間をユーザが操作・再編集すると、システムがユーザの抱えている設計型問題解決タスク（例えば、概念設計における知識獲得 [杉本 93]、知識の階層構造化 [相原 96]、グループ内のコミュニケーション [角 97b]、形状デザイン [吉住 97]、ソフトウェア開発における要求モデル構築 [角 99]）に対する何らかの解答を生成する点である。そこでは情報可視化は目的ではなく手段である。

上述してきた発想支援システムでは、システムがユーザのタスクや意図を推定して可視化手法を自動的に変更する、といったようなことはなされない。まして、個人適応のためのユーザモデリングといったことはなされない。これら発想支援システムは、ユーザ自身が自分のタスクに応じて使い分けられることを前提としている。それに対し、堀 [堀 94] は発想支援システムの効果を議論するために人間の概念形成過程のモデリングを行ない、ユーザの思考モードに応じた発想支援手法の使い分けを議論した。このモデルを用いてユーザの思考モードの変化に自律適応可能な発想支援システムを実現するには、ユーザの思考プロセスをモニタする機構が求められる。

4・2 視点に応じた可視化情報空間の再構成

可視化された情報空間におけるユーザの個人的視点を扱った研究事例を紹介する。ここでの話題は、個人の視点に応じた可視化情報空間の再構成と、可視化された個人的視点を情報として利用することである。

杉本ら [杉本 93] は、自動車の概念設計におけるデザイン個人が持つ抽象的な概念を獲得し定量的に表現することを目的とし、情報可視化インタフェースを利用した。ユーザは、統計データを用いて自動空間配置された複数の既存自動車のアイコンを自分の主観に合わせて再配置し、その結果に対して「縦軸は都会的/田舎的の視点を表す」といったような意味付けをする。そうするとシステムは、その抽象的な概念と定量的な既知属性の関係を可視化する。このシステムは、異なった主観を持つ複数のユーザの概念間の関係を可視化するのにも有効である。例えば、あるユーザの「仲間感覚で乗れる車」という概念と他のユーザの「クセがある車」という概念が、「高さ」という自動車の定量的属性と関連が深い、といったことが可視化される。

角ら [角 97b] は同様の可視化技術を、グループディスカッションにおける参加者間の相互理解と情報共有の促進支援に利用した。システムは、参加者から新しい発言がある度にその時点の話題空間を可視化し直し、すべての参加者はその可視化された話題空間を共有情

報としてディスカッションを進める*2。しかし、えてして共有情報は個人の視点に合わない場合が多いので、参加者はその話題空間を自分だけの思考空間としてコピーし、再編集することができるようになっている。具体的には、自分の興味のない発言やキーワードを削除したり、未公開のメモをその思考空間に投入したりすることができ、システムはそれに合わせて空間配置を再構成する。各参加者はそれぞれの思考空間を公開し合ってそれらをすり合わせることで、自分達の個人的視点の相違を視覚的に理解し合い、互いに未知の情報や視点を共有し合うことができる。

寺岡ら [寺岡 98] は、ユーザの個人的視点に基づいて適応的に情報可視化するシステムを開発した。可視化手法として Cone tree を利用し、定量化されたユーザの視点に合わせてダイナミックに階層構造を再構成する。キーワードを3次元球体の表面に配置した専用の可視化インタフェースを準備することで、ユーザの視点入力を直感的に行なえるように工夫している。

4・3 オブジェクトの空間配置からの構造抽出

ここでは、ユーザ自身による情報オブジェクトの空間配置作業から、ユーザ個人の空間配置における好みや暗黙の構造を読み取ってインタラクションを適応するシステムの研究事例を紹介する。

Shipman ら [Shipman 95] は、複数ユーザによるカードを用いた情報整理作業を観察した。そして、カードの空間配置作業における一般的な慣習やカード配置に埋め込まれた暗黙の空間構造（リスト、スタック、コンポーネント等）を読み取り、その結果に基づいて、カード間の関係や配置の構造を自動的に解釈するシステムを開発した。ユーザの空間配置作業から自動的に構造を読み取ることで、システムはユーザの意図を推定することができるので、インタフェース上でのユーザの作業効率を上げることができる。また、カード整理ツールを知識ベースのインタフェースとして利用することを考えると、ユーザが無意識に作業を行なっても、システムが系統的に構造を抽出し記述することが可能になるので、ユーザが忘れていたことに気付かされたり、知識の一貫した管理が促進される、といった効果が期待される。

カード配置からの構造抽出はある程度一般的なルールとして書き下せるが、同じカード配置でも、例えば、それを一つのリストと解釈するか、それとも複数のクラスタの集合と見るか、という曖昧さは残り、その解

*2 ユーザだけでなく、仮想参加者としての発言エージェントも、可視化情報を共有しながら対話に参加する。

釈の判断はユーザの個人的好みやそのときの状況に依存する。かと言って、そのような判断基準は暗黙的な知識であるため、ルールとして書き下すことは困難である。したがって、空間配置における個人への適応については、ユーザ自ら構造解釈エンジンのパラメータを調整する (adaptable な) 方法は事実上無理であり、システムが自律的にパラメータ調整を行なう (adaptive な) 方法が望ましい。

そこで Igarashi ら [Igarashi 95] は、遺伝的アルゴリズムを使って、カード配置の構造解釈のパラメータを自動的に調整する手法を提案した。システムが提示する構造解釈がユーザの意図に合わなかったときにユーザがその修正を行ない、その結果を満たすように、システムがパラメータ調整を行ない、インタラクティブにユーザの意図に適応する、というものである。

[Igarashi 95] が、基本的には [Shipman 95] が利用したような配置ルール (ヒューリスティクス) を土台にし、パラメータ調整のためにだけ遺伝的アルゴリズムを利用したのに対し、増井 [増井 94b] はグラフ配置のルールを完全に自動抽出することを試みた。具体的には、ユーザがいくつかの有向グラフを自分の主観に合わせて配置して見せると、システムは遺伝的プログラミングの手法を用いて、それらの例から配置の良し悪しを判断する評価関数を自動生成する。計算された評価関数は、それを見ただけでは解釈困難であるが、実際に新たな有向グラフをそれに基づいて自動配置してみると、いくつかの発見的な配置ルールを満たした配置がなされる、という結果が得られた。

しかし、遺伝的アルゴリズムは多大な計算時間を要するし、計算した結果を記号的知識として再利用する能力に欠けるので、実時間の適応的インタラクシオンを実現するには、さらなる工夫が必要であろう。

4・4 情報探索における情報可視化

従来の情報探索システムにおける HCI は対話 (検索における問い合わせ等) に頼る部分が大きかったが、World-Wide Web (WWW) ブラウザに代表されるようなハイパーテキスト型のシステムは、ユーザ自らが情報空間の中をブラウズしてまわる手段を提供している。検索とブラウズは情報探索のための相補的手段であることは確かだが、現状ではそれらが有機的に統合されているとは言えない。確かに WWW 上には多くの検索エンジンが存在し、その結果を起点にブラウズを行なえるのだが、大量の検索結果をいちいち確認するのは不可能だし、ブラウズを始めるとすぐに自分の居場所を見失ってしまいがちである。

情報可視化技術はこれら 2 つの技術を有機的に統合する手段となり得る [Mackinlay 95]。なぜなら、可視化情報は検索結果が形成する情報空間を一覧可能にし、検索結果間の関連を視覚的にユーザに提示する。また、ユーザは可視化された情報空間を操作することで、間接的に新たな検索問い合わせをシステムに伝えることができるので、それまでの経過をふまえながら漸次的に情報探索を行なうことが容易になる。したがって、ユーザは曖昧な検索要求で情報探索を始めることができ、システムとのインタラクシオンを通して徐々に自分の要求を明確にし、求めるべき情報を絞り込むことができる (具体的な研究事例としては、例えば、[Ahlberg 94] や [Sugimoto 98] を参照されたい)。

システムがユーザとの対話を通してユーザの興味を推定し、自律的に情報提供を個人化することを目指した研究事例を、2 件紹介する。これらは共通して、対話を通じたユーザモデリングを行ない、対話の手段として情報可視化インタフェースを利用している。

Lokuge と Ishizaki [Lokuge 95] による GeoSpace は、複雑な情報空間を探索するためのインタラクティブな情報可視化システムである。システムは、ユーザが入力した検索キーワードに応じて情報フィルタリングした結果を可視化情報としてユーザに提示する。システムはユーザとの対話を通して対話文脈の管理、ユーザの検索目標の推定をし、出力結果に反映させる。そのために彼らはドメイン知識 (検索ゴールの因果関係や競合関係) を用意し、サブゴール間の活性伝播による情報提示プランを自動化した。このドメイン知識はユーザ自身が変更できるようになっており、将来はユーザとの対話を通して自動的に学習させたい、としている。

角ら [角 98b] による Takealook も、ユーザの質問に対してシステムが回答する対話に基づいた情報探索支援システムである*3。システムは対話を通してユーザの興味を推定し、ユーザの興味に合うであろう質問-回答対を、ユーザが選択する前に自動提示したり、関連する情報コンテンツを推薦する。ユーザの興味推定は、関連キーワード間の活性伝播とユーザが選択した質問の種類に基づいてなされる。その際利用されるキーワード間の関連度はユーザとの対話を通して学習される。彼らは、ユーザの情報探索履歴の一覧、システムによる情報提示の理由付け等をユーザに示すために、ユーザの興味モデルを表すキーワード空間を可視化してユーザに提示している。これは、適応的インタ

*3 あらかじめ選択可能なキーワードと、それらについての複数の質問-回答の対が準備されており、ユーザはそれらを選択しながらシステムと対話する。

ラクションを実現するためにシステム内部に形成しているユーザモデルを可視化する手段として、情報可視化インタフェースを利用している、と見るができるよう。

5. 議論：適応的インタラクションの手段としての情報可視化技術

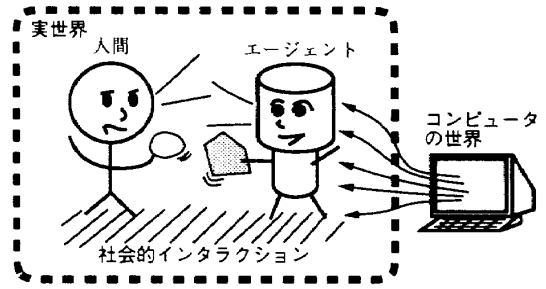
情報可視化システムにおける適応的インタラクションについての研究事例を見てきた。本特集で取り上げられた別の分野に比べて、システムからの自律的な適応 (adaptive) に関する事例が少ないことに気付かれたと思う。事実、ユーザ自身が適応しやすい、もしくはユーザによって適応させやすい (adaptable) システムを構築する方が、情報可視化システム研究の主流である。

2章で見たように、情報可視化システムの底流にある直接操作インタフェースの思想を考えると、HCIの道具としてのインタフェースが状況によってふるまいを変えるのはかえってありがた迷惑であり、システムは adaptive ではなくユーザが適応しやすいものであることが重要である、という考えになるのは当然であろう。しかし、筆者の考えでは、「ユーザインタフェースとしての情報可視化部分におけるシステムの適応 (adaptive)」という図式ではなく、「HCI 一般における適応的インタラクションを実現するための手段としての情報可視化」という図式に主客を逆転して見ると、情報可視化システムと適応的インタラクションは非常に関連が高い。

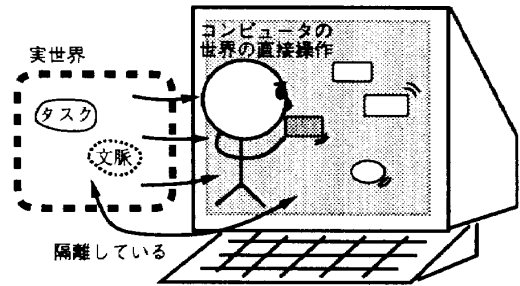
このことを図1を見ながら説明する*4。そこには、考えられる3種類のHCIの在り方を概念図として表している。

(1) は、人間と対等なインタラクション能力を持つエージェントの構築を目指す、人工知能 (AI: Artificial Intelligence) 研究の正道である。真に対等なインタラクションと言うからには、エージェントはコンピュータデスクトップから飛び出してきて人間と同じ実世界を共有し、人間と社会的なインタラクションを行なうことが望まれる。しかし現状では、人間と実世界を共有するだけの十分な感覚と行動能力を持ったエージェントはまだできていない。

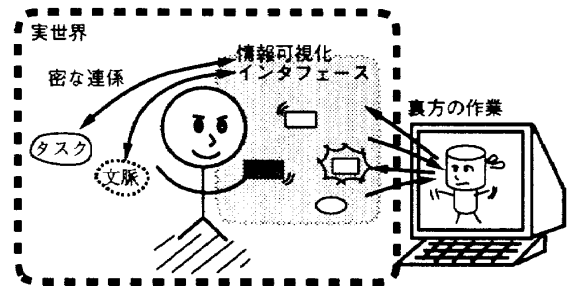
(2) は、コンピュータシステムを人間の知能増幅 (IA, Intelligence Amplifier) のための道具として位置づける考えであり、HCI研究コミュニティの大勢である。人



(1) 知的個体としてのエージェント (正道 AI)



(2) 知能増幅のための道具 (IA)



(3) エージェントとの間接的なインタラクション

図1 人間とコンピュータシステムの関わり方の三つのモデル

間と実世界を共有する能力を持つエージェントを作ることは現状では無理なので、逆に人間の方がコンピュータの世界に近づいて、HCIを成立しよう、という考えである。その際、コンピュータの世界の中とは言え、実世界での身体活動を擬似的に再現することが作業効率を上げると考えられるため、デスクトップコンピュータ上では WIMP パラダイムが開発された。仮想現実研究は、さらにコンピュータの世界での身体活動の範囲を広げることを目標としている、と考えて良いだろう。いずれにしても、コンピュータの中での情報操作は、ユーザ自身による直接操作が前提である。このようなモデルの上では、システムの自律的な適応は予測インタフェース (仮名漢字変換等) のパラメータ調整程度の単純なものの場合には有効であるが、ユーザとの深いインタラクションを求めるようなユーザモデリングは割に合わない [増井 94a]。

(2) のモデルは限られた範囲では有効に機能してきた。しかし、コンピュータシステムで大量の情報を扱い複雑な作業を行なおうと考えるとき、ユーザ自身が

*4 図1は、[堀 92] と [Robertson 93] に載っている HCI についての概念図を参考にして、筆者が新たに作成したものである。

すべてを直接操作するのは事実上無理であり、膨大な情報の中からユーザが直接操作すべきものを選択してくれるエージェントが必要になってきている*5。更に深刻な問題は、(2)のモデルではHCIの場がユーザの本来のタスクや文脈が埋め込まれた実世界と隔離していることである。

そこで、本来のタスクや文脈が埋め込まれた実世界をHCIの場としてとらえ直そうとする、実世界指向インタフェース [暦本 96] の研究が最近盛んになってきている。それを可能としているのが、昨今のモバイル/ウェアラブル/ユービキタスコンピューティング技術の進展である。これらの技術は実世界での文脈からとぎれることなく利用されることを意図しているため、その上で動作しているエージェントは、デスクトップコンピューティングのときよりもユーザの文脈（ユーザの位置、ユーザが注視しているものは何か、今誰と一緒にいるか、といった情報）を獲得しやすい。つまり、単独の個体としての完全な実世界認識・行動能力を持たなくても、ユーザと共に行動することで実世界の文脈の一部を獲得し利用することができる。実世界指向のHCIを考えると、エージェント技術は実世界と情報世界の統合を実現する重要な技術であると言える [長尾 97]。

しかしそうは言っても、現状のエージェントに人間同士がしているようなインタラクションを求めるのがまだ無理であることは先に述べた通りである。そこで、現状の均衡点として、実世界指向インタフェースに情報可視化技術を活用することが適当だと考える（図中の(3)のモデル） [角 97a]。つまり、情報可視化インタフェースを、エージェントとの間接的インタラクションの“窓”として利用するのである。ユーザが実世界の文脈の中で自らのタスクを遂行し、背後でエージェントが情報収集、情報フィルタリングといった裏方の作業を行なう*6、そして、それらの情報のやり取りの場として情報可視化インタフェースを活用する、という枠組である。この枠組では、エージェントからユーザ個人のタスクや興味への適応は必然である。なぜなら、モデル(2)が不特定多数のユーザを対象としたのに対し、モデル(3)は最初から個人ユーザを対象としているからである。

例えば、モバイルコンピューティングを用いることで、ユーザが情報システムから実世界タスクにおける

情報推薦やナビゲーション情報を享受する、逆に、ユーザが情報システムに対して何らかのリクエストをする、といったHCIの場として情報可視化インタフェースを利用したり [石田 98, 角 98a]、ウェアラブルコンピューティングを用いた拡張現実技術を利用して、実空間に可視化情報をオーバーラップする [Starnier 97] といったアプローチが、上記のモデル(3)に対応すると考える。

6. ま と め

これまでの情報可視化システム研究は主に直接操作の枠組の中で議論されてきたので、可視化インタフェースの自律的な適応やそのためのユーザモデリングといった研究方針は現状とそぐわなかった。しかし、今後益々、情報システムが扱う情報やタスクが多様になり、かつ個人化が進むにつれて、情報システムそのものはユーザやタスクに対して適応能力を持ち、そのためにはユーザモデリングを行なう必要がある。そのとき、情報可視化技術は情報システムとユーザのインタラクションの場を提供する効果的な手段として重要な位置を占めると考える。

◇ 参 考 文 献 ◇

- [Ahlberg 94] Ahlberg, C. and Shneiderman, B.: Visual information seeking: Tight coupling of dynamic query filters with starfield displays, in *Proc. CHI'94*, pp. 313-317 (1994).
- [相原 96] 相原健郎, 堀浩一, 大須賀節雄: 断片的な情報の集まりから知識を構築する過程の支援, *人工知能学会誌*, Vol. 11, No. 3, pp. 432-439 (1996).
- [Card 91] Card, S.K., Robertson, G.G. and Mackinlay, J.D.: The Information Visualizer, an information workspace, in *Proc. CHI'91*, pp. 181-188 (1991).
- [Card 96] Card, S. K.: Visualizing retrieved information: A survey, *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. 16, No. 2, pp. 63-67 (1996).
- [藤代 97] 藤代一成: サイエントフィックビジュアルリゼーションからインフォメーションビジュアルリゼーションへ, in *3D Image Conference '97*, pp. 24-29 (1997).
- [Furnas 86] Furnas, G. W.: Generalized fisheye views, in *Proc. CHI'86*, pp. 16-23 (1986).
- [Gershon 97] Gershon, N. and Eick, S. G.: Information visualization, *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. 17, No. 4, pp. 29-31 (1997).
- [堀 92] 堀浩一: 認知モデル, 大須賀節雄 (編), ヒューマンインタフェース, 第2章, pp. 19-32, オーム社 (1992).
- [堀 94] 堀浩一: 発想支援システムの効果を議論するための一仮説, *情処学論*, Vol. 35, No. 10, pp. 1998-2008 (1994).
- [Igarashi 95] Igarashi, T., Matsuoka, S. and Masui, T.: Adaptive recognition of implicit structures in human-organized layouts, in *11th IEEE International Symposium on Visual Languages*, pp. 258-266 (1995).
- [石田 98] 石田亨, 西村俊和, 八槿博史, 後藤忠広, 西部喜康, 和氣弘明, 森原一郎, 服部文夫, 西田豊明, 武田英明, 沢田篤史, 前田晴美: モバイルコンピューティングによる国際会議支

*5 こういった議論は古くからなされている。例えば, [Kay 84] を参照されたい。

*6 情報収集一般における適応的インタラクションについては, [杉本 99] を参照されたい。

- 援, 情処学論, Vol. 39, No. 10, pp. 2855-2865 (1998).
- [Ishizaki 96] Ishizaki, S.: Multiagent model of dynamic design: Visualization as an emergent behavior of active design agents, in *Proc. CHI'96*, pp. 347-354 (1996).
- [川喜田 67] 川喜田二郎: 発想法, 中公新書 (1967).
- [Kay 84] Kay, A.: Computer software, *Scientific American*, Vol. 251, No. 3, pp. 53-59 (1984).
- [小池 96] 小池英樹: ビジュアルライゼーション, 平川正人, 安村通見 (編), ビジュアルインタフェース-ポスト GUI を目指して-, bit 別冊, pp. 24-44, 共立出版 (1996).
- [國藤 93] 國藤進: 発想支援システムの研究開発動向とその課題, 人工知能学会誌, Vol. 8, No. 5, pp. 552-559 (1993).
- [Lokuge 95] Lokuge, I. and Ishizaki, S.: GeoSpace: An interactive visualization system for exploring complex information spaces, in *Proc. CHI'95*, pp. 409-414 (1995).
- [Mackinlay 86] Mackinlay, J.: Automating the design of graphical presentation of relational information, *ACM Trans. Graphics*, Vol. 5, No. 2, pp. 110-141 (1986).
- [Mackinlay 91] Mackinlay, J. D., Robertson, G. G. and Card, S. K.: The Perspective Wall: Detail and context smoothly integrated, in *Proc. CHI'91*, pp. 173-179 (1991).
- [Mackinlay 95] Mackinlay, J. D., Zellweger, P. T., Chignell, M., Furnas, G. and Salton, G.: Browsing vs. search: Can we find a synergy?, in *Proc. CHI'95 Companion*, pp. 179-180 (1995).
- [増井 94a] 増井俊之: 適応/予測型テキスト編集システム, 竹内彰一 (編), インタラクティブシステムとソフトウェア II, pp. 145-154, 日本ソフトウェア科学会, 近代科学社 (1994).
- [増井 94b] 増井俊之: 進化的学習機構を用いたグラフ配置制約の自動抽出, 竹内彰一 (編), インタラクティブシステムとソフトウェア II, pp. 195-204, 日本ソフトウェア科学会, 近代科学社 (1994).
- [三末 94] 三末和男, 杉山公造: 図的発想支援システム D-ABDUCTOR について, 情処学論, Vol. 35, No. 9, pp. 1739-1749 (1994).
- [長尾 97] 長尾確: エージェント拡張現実感—エージェントによる実世界と情報世界の統合—, 情報処理, Vol. 38, No. 4, pp. 257-266 (1997).
- [Perlin 93] Perlin, K. and Fox, D.: Pad: An alternative approach to the computer interface, in *Proc. SIG-GRAPH '93*, pp. 57-64 (1993).
- [暦本 96] 暦本純一: 実世界指向インタフェースの研究動向, コンピュータソフトウェア, Vol. 13, No. 3, pp. 196-210 (1996).
- [Robertson 91] Robertson, G. G., Mackinlay, J. D. and Card, S. K.: Cone Trees: Animated 3D visualization of hierarchical information, in *Proc. CHI'91*, pp. 189-194 (1991).
- [Robertson 93] Robertson, G.G., Card, S.K. and Mackinlay, J.D.: Information visualization using 3D interactive animation, *Communications of the ACM*, Vol. 36, No. 4, pp. 57-71 (1993).
- [Roth 94] Roth, S. F., Kolojechick, J., Mattis, J. and Goldstein, J.: Interactive graphic design using automatic presentation knowledge, in *Proc. CHI'94*, pp. 112-117 (1994).
- [Roth 96] Roth, S. F., Lucas, P., Senn, J. A., Gomberg, C. C., Burks, M. B., Stroffolino, P. J., Kolojechick, J. A. and Dunmire, C.: Visage: A user interface environment for exploring information, in *Proc. Information Visualization '96*, pp. 3-12 (1996).
- [Senay 94] Senay, H. and Ignatius, E.: A knowledge-based system for visualization design, *IEEE Computer Graphics and Applications*, Vol. 14, No. 6, pp. 36-47 (1994).
- [Shipman 95] Shipman, F. M., Marshall, C. C. and Moran, T. P.: Finding and using implicit structures in human-organized spatial layouts of information, in *Proc. CHI'95*, pp. 346-353 (1995).
- [Shneiderman 83] Shneiderman, B.: Direct manipulation: A step beyond programming languages, *IEEE Computer*, Vol. 16, No. 8, pp. 57-69 (1983).
- [Starner 97] Starner, T., Mann, S., Rhodes, B., Levine, J., Healey, J., Kirsch, D., Picard, R. W. and Pentland, A.: Augmented reality through wearable computing, *Presence*, Vol. 6, No. 4, pp. 386-398 (1997).
- [杉本 93] 杉本雅則, 堀浩一, 大須賀節雄: 設計問題への発想支援システムの応用と発想過程のモデル化の試み, 人工知能学会誌, Vol. 8, No. 5, pp. 575-582 (1993).
- [Sugimoto 98] Sugimoto, M., Hori, K. and Ohsuga, S.: A system for visualizing viewpoints and its application to intelligent activity support, *IEEE Trans. Systems, Man, and Cybernetics*, Vol. 28C, No. 1, pp. 124-136 (1998).
- [杉本 99] 杉本雅則: 情報収集システムにおけるユーザモデリングと適応的インタラクション, 人工知能学会誌, Vol. 14, No. 1, pp. 25-32 (1999).
- [角 97a] 角康之, 西本一志, 間瀬健二: 人間-機械系による創造-発想支援ツールの位置づけ-, 人工知能学会研究会研究会資料, Vol. SIG-HOT/PPAI-9603, pp. 7-12 (1997).
- [角 97b] 角康之, 西本一志, 間瀬健二: 協同発想と情報共有を促進する対話支援環境における情報の個人化, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J80-D-I, No. 7, pp. 542-550 (1997).
- [角 98a] 角康之, 江谷為之, シドニー・フェルス, ニコラ・シモネ, 小林薫, 間瀬健二: C-MAP: Context-aware な展示ガイドシステムの試作, 情処学論, Vol. 39, No. 10, pp. 2866-2878 (1998).
- [角 98b] 角薫, 角康之, 間瀬健二, 中須賀真一, 堀浩一: 概念空間を利用した興味の推定と情報提供の個人化, 第4回知能情報メディアシンポジウム, 電子情報通信学会 (1998).
- [角 99] 角康之, 堀浩一, 大須賀節雄: システム設計における要求モデル構築支援, 人工知能学会誌, Vol. 14, No. 1, pp. 102-110 (1999).
- [寺岡 98] 寺岡照彦, 丸山稔: ユーザの「視点」に基づく適応的な情報視覚化, 情処学論, Vol. 39, No. 5, pp. 1365-1372 (1998).
- [吉住 97] 吉住英典, 堀浩一, 大須賀節雄: 概念形成から形状設計までを支援する発想支援システムの一提案, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J80-D-II, No. 7, pp. 1887-1895 (1997).
- [Zhou 98] Zhou, M. X. and Feiner, S. K.: Visual task characterization for automated visual discourse synthesis, in *Proc. CHI'98*, pp. 392-399 (1998).

著者紹介

角 康之(正会員)



1990年早稲田大学理工学部電子通信学科卒業。1995年東京大学大学院(情報工学)修了。同年より、(株)エイ・ティ・アール知能映像通信研究所研究員、博士(工学)。発想支援システム、知識処理システムの開発、およびその人間協調系への応用研究に従事。電子情報通信学会、情報処理学会、AAAI各会員。 <sumi@mic.atr.co.jp>