

モバイル&ユビキタスインタフェース

椎尾 一郎*¹ 安村 通晃*² 福本 雅明*³ 伊賀 聡一郎*⁴ 増井 俊之*⁵

HCI in Mobile and Ubiquitous Computing

Itiro Siio,*¹ Michiaki Yasumura,*² Masaaki Fukumoto,*³ Soichiro Iga*⁴ and Toshiyuki Masui*⁵

Abstract – This paper provides some perspectives to human computer interaction in mobile and ubiquitous computing. The review covers overview of ubiquitous computing, mobile computing and wearable computing. It also summarizes HCI topics on these field, including real-world oriented interface, multi-modal interface, context awareness and invisible computers. Finally we discuss killer applications for coming ubiquitous computing era.

Keywords : Mobile Computing, Ubiquitous Computing, Wearable Computing, Real-world Oriented Interaction.

1. はじめに

前世紀の終わりに Mark Weiser は、21 世紀のコンピュータはユビキタスになると予言した^[40]。コンピュータがますます小型になり、安価になることで、以前ならもったいなくて実現できなかったような、生活のこまごまとした用途に、専用のコンピュータを投入することが可能になる。その結果、コンピュータは人々にとってどこにでもある (=ユビキタスな) 物になり、テクノロジーの存在感が人々の前から消え去り、意識されない透明な存在になる、というのが Weiser のビジョンであった。

人々のコンピュータに対する意識が変化することにより、大いに影響を受ける分野は HCI である。従来の HCI の設計者は、コンピュータをドラマチックで素晴らしいものにして、人々の生活に欠かせない道具にすることを目標にしていたと言える。ユビキタスコンピューティングにおける HCI 設計の目標は、これとは違い、コンピュータを生活に溶け込んだ自然なものにして、人々がコンピュータを使っていることを忘れさせることになる^[41]。ユビキタスコンピューティングのもっとも重要な課題は、それを人々がどう使うべきかというユーザー研究を含めた、HCI の問題なのである。

一方、モバイルコンピュータも、小型化と低価格化がすすむにつれ、キーホルダや財布のような、テクノロジーを意識しないで持ち歩く日用品になっていくと考えられる。さらに、衣服、靴、腕時計、眼鏡、アクセサリのように、身に付けるウェアラブルコンピューティングへと進化するであろう。このように、モバイルコンピューティングの進化する方向も、ユビキタスコンピューティングであり¹、人とコンピュータのかわり合いに大きな変革をもたらすことになる。とくに、身に付けたり持ち歩くコンピュータは、人に密着する装置であり、人とのインタフェースが、機能の重要な部分を占めることになる。

本論文では、最初に、ユビキタスコンピューティング、モバイルコンピューティングおよびウェアラブルコンピューティングについて解説し、これらの技術課題と成功の鍵が、人とコンピュータとのインタラクションにあることを明確にする。次に、この分野に関連するヒューマンインタフェース手法として、実世界指向、マルチモーダル、コンテキストウェアネスおよび透明なコンピュータの考えを解説し、今後の研究課題を考察する。最後に、ユビキタスコンピューティングのキラアアプリケーションについて考察する。

2. ユビキタスコンピューティング

ユビキタスコンピューティングという言葉が、一般用語になりつつある。ユビキタスとは、「どこにでも (everywhere)」という意味のラテン語 *ubique* から派生した英語で、「どこにでもある」という意味である。最近では「無線などの、どこでも使えるネットワー

*1: 玉川大学工学部

*2: 慶應義塾大学環境情報学部

*3: NTT ドコモ マルチメディア研究所

*4: リコーオフィスシステム研究所

*5: 産業技術総合研究所

*1: Faculty of Engineering, Tamagawa University

*2: Faculty of Environmental Information, Keio University

*3: NTT DoCoMo Multimedia Labs.

*4: Ricoh Office System R&D Center

*5: Advanced Industrial Science and Technology

1: Weiser はユビキタスコンピューティングの例として、ラベルサイズ (tab) とノートサイズ (pad) のモバイルコンピュータを紹介している。

クを使って、どこでもコンピュータを使うこと」という意味で、ユビキタスコンピューティングという言葉が使われてしまうことも多い²。また、ユビキタスコンピューティングを、単に生活のあらゆる場所や物にコンピュータを設置したり、コンピュータチップを埋め込むことと考えがちである。しかし、コンピュータが小型、安価になり、いくらでも使えるようになり、いつでもどこでもネットワーク接続可能になることは、技術開発の延長線上にあることで、明白なことと言っても良い。身の回りのあらゆるところにコンピュータが存在することは、ユビキタスコンピューティングの本質では無いのである^[14]。

「21世紀のコンピュータ」と題された Weiser の論文^[40]のタイトルの下には、

Specialized elements of hardware and software, connected by wires, radio waves and infrared, will be so ubiquitous that no one will notice their presence.

という一文が、大きく掲げられている。ubique の英訳である everywhere には、「非常にありふれた」という意味がある³。Weiser は「ユビキタス」という言葉で、コンピュータの個数や設置状況を説明しているのではなく、コンピュータを受け止める人々の意識を語っているのである。ユビキタスコンピューティングのポイントは、コンピュータ技術革新の結果、コンピュータそのものが環境にすっかり溶け込み、消えてしまうという点にあり、これが、これからのユーザインタフェースのあるべき姿なのである。

では、コンピュータをユーザーの意識から消してしまうためには、どのような設計をすれば良いであろうか。一つには、日用品のように、機能を単純にして、操作を単純にする方法があるだろう。また、常時起動していて、常時動作していることも必要かもしれない。コンピュータとユーザーの置かれた状況(コンテキスト)を利用して、ユーザーが状況をインプットする煩わしさを減らすことも効果的であろう。このような、ユビキタスコンピューティングを実現するための HCI アプローチについて、本論文の後半で解説する。

3. モバイルコンピューティング

3.1 モバイルの特徴

モバイルコンピューティングは、絶え間ない技術革新により、コンピュータそのものが、
大型機 デスクトップ ノート型 携帯型(ハンド

ヘルド パーム) 携帯電話のように、小型化していき、持ち歩けるようになったものとも考えられる。

しかし、オーディオ装置を机においた状態で聞くと、持ち歩いて聞くのでは文化的な意味合いが全く異なるように、コンピュータをモバイルとして持ち歩くようになっただけで、大きな質的变化が生じている。

では、モバイルインタフェースが持つ意味合いとは何であろうか。次の5つが、モバイルにとって重要な点であると考えられる。

1. 実世界指向
2. 状況依存(コンテキストアウェアネス)
3. 携帯性
4. 通信機能(コミュニケーション)
5. コンピューターション(マジック)

実世界指向性と、コンテキストアウェアネスについては、ユビキタスコンピューティングに共通の特徴であるので後述するが、モバイル機器が実世界に密着して使われること、さらに持ち運ぶことで場所や時間といった状況依存性を利用しやすいこと、などが生かされたインタフェースが考案されている。また、コンピュータ資源に限られたモバイル機器は、単独ではほとんど意味がなく、したがって、通信機能も重要な点である。最後に、従来の携帯ラジオや腕時計などとの本質的な違いは、ある種のマジックがコンピューターションにより実現される、という点である。たとえば、モバイル端末の典型例として、携帯電話を考えるとすぐに分かるが、電話帳機能やスケジュール機能など、さまざまな「マジック」がそこに備わっている。

3.2 モバイルインタフェースの課題

モバイルインタフェース特有の課題には、次のようなものがある。

1. 小画面(baby face)
2. 入力方法 - ボタン操作, ペン入力, 音声入出力
3. とっさの操作

モバイルコンピュータは、小型軽量化により、画面が小さくなり、また、キーボードなどをつけることが難しくなるため、小画面の問題と、文字入力の問題が生じる。PDAでは、ペン入力が主流であるが、携帯電話では親指による5回押し方式という極めて非効率な方法が用いられている。それでも若者達は文字入力を続けているがこれは、インタフェースパラドックスの一つである。これに対し、単語予測により、ボタン押し回数を減少させようという方式(POBox^[18])も始まっている。また、PDAでは一般的なペン入力も、携帯電話ではほとんど見掛けない。このペン入力とボタン(カーソル)入力との関係を、溝渕らが調べている^[19]。最後に、モバイルで重要な点は、ほとんどの

2: この誤解は、野村総合研究所が1999年に提唱したユビキタス・ネットワークという言葉と混同されたため生じたという説がある^[26]。

3: =very common. The Concise Oxford Dictionary による。

操作が、移動中のバスを待っている時間とか、立ち止まってとか、とっさの操作が求められる、というのもモバイルのもう一つの課題である。

4. ウェアラブルコンピューティング

モバイルコンピューティングが、持ち歩くコンピュータを利用することに対して、その進化した姿であるウェアラブルコンピューティング^[17]は、日常的に身に付けることを目指した利用形態である。モバイルに対するウェアラブルの違いは、表面的には、

- ハンズフリー（両手が空いていること）
- いつでも電源がONで使えること

である。この結果、ユーザーは、コンピュータを使うための煩わしさから解放されて、身に付けたコンピュータの存在を感じなくなり、それを自分の体の一部のように使うことができるであろう。ウェアラブルの目指すところも、ユビキタスなのである。

4.1 人間装着 vs 環境設置

「いつでも・どこでも、情報（ヒト・モノ・環境と読み替えても良い）にアクセスしたい」というシステムを実現する手法として、操作者である人間側に装置群を設置するウェアラブルの手法と、周囲の環境側に装置群を設置する二通りの対照的な手法が考えられる。ユビキタスコンピューティングとは、コンピュータを遍在させることであるという誤解から、後者をユビキタスの手法と考えると、ウェアラブルとユビキタスが対立概念として紹介されることも多い。

しかし、操作者側・環境側の一方だけに、情報世界との接点である装置群（インタフェースやセンサなど）を設置することは、得策では無い。たとえば、遠く離れたモノの情報を得るのは、装着型機器だけでは困難であり、逆に、環境側機器だけを用いて、体温や心拍など人間の生体情報を得ることは難しい。また、環境設置型の機器を用いて、特定の個人「だけ」に情報を送ることは難しく、プライバシーの漏洩が懸念されるが、個人に装着するウェアラブル機器では容易である。

一方、ウェアラブル機器に求められる、小型軽量化や消費電力の低減への要求は、環境設置型機器（特に家屋や街路等のインフラ系機器）に対してはそれほど強くない。また、導入の初期には、「情報アクセスを必要とする人だけが機器を装着すれば良い」ウェアラブル型の方が、最初から広範囲のインフラ整備を必要とする環境設置型より、コストが少なく済む。このように、両者の利点と欠点には、対称的な関係があることがわかる（表1）。対照的な二通りの手法は、二者択一ではなく、バランスをとって取り込むべきものである。

表1 人間装着と環境設置

	人間装着	環境設置
遠隔地情報収集	困難	容易
プライバシー確保	容易	困難
生体情報収集	容易	困難
機器制約（大きさ・重さ・消費電力等）	多	少
初期導入コスト	低い	高い

4.2 本質はインタフェース

当初、ウェアラブルの研究は「装着可能なコンピュータ機器」を製作することに、主眼が置かれていた。しかし、高速無線ネットワークを介した常時接続が普及した世界では、無制限とも言える記憶容量と、強大な情報処理能力を持った「ネットワーク」そのものを、仮想的に「装着」することが可能となる。従って、小型軽量化や消費電力への制約が多い「コンピュータ」自身を、ローカルな身体に装着する必要はなくなる。この場合、最後までローカルな人間の身体に装着する必要があるのは、人間の意図をネットワーク側に伝え、得られた情報を提示する為に必要な「インタフェース」のみになる⁴。即ち「ウェアラブル」の本質は、「装着できるコンピュータ」ではなく、「装着できるインタフェース」と言うことができる。

CPUやメモリなどの情報処理機構では、小型化による使い勝手の悪化は起こらない。これに対し、人間と直接接する部分であるインタフェース機器では、無闇な小型化は使い勝手の悪化を招いてしまう。たとえば、小型キーボードに代表される従来型インタフェースの小型化では、装着性と操作性の両立は難しい。24時間身体に装着したままで生活できる、真にウェアラブルなインタフェースを造るには、常時装着を前提に、インタフェース機構を考え直す必要があるだろう。

一方、環境側に装置群を置く手法では、有線によるネットワーク接続やエネルギー供給が可能であり、機器に対する小型軽量化の要求度も低いように見える。従って、ローカルな処理装置であるコンピュータを「ばら撒く」ことも可能である。しかし、建物や街路等のインフラ系や電子機器だけで無く、本や食品、紙や鉛筆まで含めた世の中全ての「モノ」の”network ready”化の為に、ウェアラブル機器より厳しい制約が生まれることになる。この場合にも、最終的に必要とされるのは、個々のモノとネットワークの接点であるインタフェース機構（特にモノの場合は、センサとアクチュエータと言われることが多い）と言えるだろう。

モバイルやウェアラブルインタフェースの研究は、現在はオタク向けの変な研究のように考えられていることが多いが、実は誰でもどこでもいつでも使える、

4: 実際には、インタフェース機器群をネットワークに接続する為の無線データ通信機器と、これらの機器を動作させる為のエネルギー供給装置が必要である。

真にユニバーサルなインタフェースを目指している点が重要である。モバイル/ウェアラブルと、これをサポートする環境設置型インタフェースの研究を進めていくと、老人向けだの障害者向けだの言うことなく、自然と誰でも使えるシステムに到達するはずである。

5. 実世界指向

5.1 実世界指向とユビキタス

実世界指向 (AR=Augmented Reality; 拡張現実ともいう) とは一言で言えば、コンピュータなどの情報技術により、ちょうど眼鏡で視力を補正するように、現実の我々の生活を強化しようとする考え方である。ここでは、まず現実世界があり、その上に仮想世界がある。すなわち、仮想世界と実世界を二重化することによって、人間の感覚や現実の機器の機能を拡張するものである。人々が生活している実世界を対象にしていることに加え、実世界と仮想世界の情報をシームレスに提示するために、コンピュータの存在を隠す手法がとられることなどから、実世界指向は、ユビキタスコンピューティングの方向性と合致していると言える。

5.2 実世界指向の分類

実世界指向と一口に言っても、その中には様々な考え方がある。大きく分類すると次のような方式があると言える^[10]。

小島によれば実世界指向とは「現実と仮想との双対空間」であり、それは次の4つに分類されるという(文献^[10] 第2.5節)。

1. ユビキタス CPU — 実オブジェクトに CPU 埋込み (例: Tab・Pad・Liveboard, PDA など)
2. オブジェクト ID — 実オブジェクトに識別タグ埋込み (例: Active Badge 等)
3. 状況指向 — 空間の位置座標で実虚の対応 (例: GPS, Spatially-aware Palmtop)
4. オーバーレイ — 実と虚の重ね合わせ (例: DigitalDesk, オブジェクト指向ビデオなど)

筆者は、この分類に最近の研究動向を反映させた、次の5分類を提案したい。ここでは、実世界に仮想世界の情報を重ねあわせる手法が実世界指向の典型的なものであるため、これを最初に置き、さらに、実オブジェクト指向を加えている。また、小島の分類から踏襲した項目名と説明についても、最近の研究を踏まえて更新した。

1. 仮想と実の二重世界 (Overlay):
最も典型的な実世界指向の方式の一つで、仮想世界と実世界のオーバーレイを特徴とする。たとえば、DigitalDesk^[42] と呼ばれるシステムでは、机の上部にプロジェクタとカメラがあり、プロジェ

クタでは仮想世界の情報を机の上に表示し、一方のカメラは人が紙の上に書く文字や図形を読み取って、仮想世界に送り込む。他には、InteractiveDesk^[42]、Karma^[9]、InfoBinder^[30]、AugPen^[12] などがある。

2. どこでも処理 (Ubiquitous):
現実世界の様々な場所やものの中に CPU を埋め込んでしまうアプローチである。黒板に埋め込めば、電子黒板になるし、手帳に埋め込めば電子手帳、ノートに埋め込めば、電子ノートである、等々。服などに埋め込めば、ウェアラブルインタフェースになる。
3. タグ方式 (ID-aware):
CPU がタグとして埋め込まれ、現実世界のものにつけられたタグにより、そのものの識別をしたり、情報を得たりする方式。スキーリフト乗り場で使われる IC チップや、動物の生息域を調べるためのタグなどがその例である。他には、Active Badge^[38]、NaviCam^[24]、IconSticker^[31] などがある。
4. 状況依存 (Time/Space-aware):
その時間、その場所に依じた情報提示をする方式で、たとえば、GPS を用いたカーナビや SpaceTag^[36] などがその例である。
5. 実オブジェクト指向 (Object-aware):
実オブジェクト指向とは、現実のオブジェクトを操作することが、仮想世界のものを動かす、という考え方のものである。この方法により高齢者や障害者の機器操作が容易になったりする^[11]。人が長年馴染んできた道具のような、手触り/手応えのあるタンジブルな物体により、抽象的なデジタル情報を操作しようとする手法であるので、タンジブルなインタフェース^[13]とも呼ばれる。

6. マルチモーダル操作とメディア統合

日常生活の、あらゆる場面での使用が想定される、ユビキタスコンピューティングによる情報アクセスでは、単一のインタフェース機構で、全ての状況をカバーするのは困難である。たとえば、ウェアラブルコンピューティングにおいて、両手が塞がっている場合は、フルキーボードでの入力は難しいし、声が出せない状況では、音声認識が使えない。出力側でも、自動車の運転中に突然 HMD に画像が出たり、会話中に音声メールが着信しても困ってしまう。単一のインタフェース機構を固定してしまうと、使いたい時に使えなかったり、これとは反対に、より高速な入出力手段(例:フルキーボードや音声認識)が使える状況にも関わらず、低速な手段(例:マウスやテンキーでの文字入力)の使用を

強いられる、という問題が発生する。人や環境に、コンピュータを装着するユビキタスコンピューティングにおいては、スイッチ・マイク・HMD・イヤホンなど、人に装着した様々な機器に加え、壁面ディスプレイ・街頭カメラ・各種 ID リーダなど身の周りにばら撒かれた多数の機器を自由に組み合わせて、その状況で最も効率的な入出力操作を行うことになるだろう。このようなマルチモーダル操作を可能にするには、種々のセンサ群によるユーザーの状況把握(どの形式で提示し、どの形式で受け入れるのが最も適切か判断する)に加え、メディア統合と相互変換が重要になってくる。たとえば目の前にある花瓶についての情報を知りたい場合、

- キーボードで花瓶についている ID を打ち込む、
- 「この花瓶について教えて」と音声で尋ねる、
- 「これは何?」と指差しと音声で示す、
- 身に着けたカメラでアップにする、
- 花瓶についているタグを読み取る、

など、多様な手法が考えられる。システムは、これらのあらゆる入力方法によるユーザーの意図を正しく理解する必要がある。

対する出力の場合、通常の日常活動を妨げずに、ネットワークからの情報を伝える必要がある為、メディア変換の重要性は特に高まる。画像、音声、振動などの各メディアはそれぞれ、情報の伝達速度や日常生活との並列性(「ながら」使用の容易さ)に違いがある。従って、ネットワークからの情報を割り込ませる場合には、

- バイブレーションを用いて新規情報の到着を報知、
- 音声を用いて内容の要約を提示、
- 詳しい情報やグラフィカルイメージを HMD で表示、

などの連携動作が必要になる。また、特定の機器が使えない状況では、音声による画像イメージの解釈など、使用可能な他の機器へのメディア変換を行わなければならない。最終的には、使用できる機器とメディアによる入出力速度の差はあるにせよ、あらゆる入出力機器を介して、全ての種類の情報へのアクセスを可能とするのが理想である。メディア変換技術のいくつかは、従来から研究が行われて来ているが、音声による画像情報の把握など、未踏の分野も多い。逆に言えば、ユビキタスコンピューティングを実現する上での、残された大きな課題(であると同時におもしろい研究の鉱脈)であるとも言える。

一方、マルチモーダルインタフェースやメディア統合は、コミュニケーションへの応用においても重要である。携帯電話やメールの爆発的普及でわかるように、コンピュータは、人間の間のコミュニケーションを支

援するために使われることが、ますます多くなると考えられる。今日、コミュニケーションの手段として、重要な役割を担っている Web ページやメールは、テキストが主体である。そのため、テキストを、効率良く作成したり交換するための技術が、現在のところ重要になっている。その一方で、顔が見えない、テキストのみによるコミュニケーションが増えた結果、発言の真意がわからず、誤解により喧嘩が起こったりするトラブルもよく発生している。マルチモーダルなインタフェースやコミュニケーション手法の研究は、今後のモバイル/ユビキタスインタフェースで、ますます重要になってくるであろう。

7. コンテキストアウェアネス – 3C から 4C へ

ユビキタスコンピューティングの本質であるコンピュータの不可視性・透明性を実現するには、システム側がユーザーの置かれている状況を認識する、コンテキストアウェアネス技術が重要となる^{[1] [43] [34]}。すなわち、モバイル・ユビキタスコンピューティングにおける HCI の課題として、3C Everywhere(Computing Everywhere, Contents Everywhere, Connectivity Everywhere) に新たに「Context Everywhere」を加えた 4C(3C+1C) を対象とすべきであろう。

コンテキストアウェア・コンピューティングのパイオニア的な研究例としては、Olivetti Research Lab の Active Badge^[38] や Xerox の ParcTab^[39] が挙げられる。これらのシステムでは、ユーザの ID 情報、ロケーション情報などを、ユーザーの携帯するデバイスから取得し、ユーザの位置の把握や電話の自動転送などの、様々なサービスに結び付けている。

最近でもジョージア工科大学の Aware Home プロジェクト⁵ や Everyday Computing プロジェクト⁶、MIT Project Oxygen⁷、Microsoft Research の Easy Living^[4] などユビキタスコンピューティングや、コンテキストアウェア・コンピューティングに関する実証的な研究が、精力的に行われている。コンテキストを抽象化して扱い、コンテキストアウェアアプリケーションのラピッドプロトタイプを可能にするツールキットも、提案されている^[5]。このようなプラットフォームが普及すれば、コンテキストアウェア・アプリケーションの開発も促進されるし、モジュールの再利用性も高まるであろう。

AT&T の Sentient Computing Project では 3D Bat という超音波を用いた 3 次元の室内用位置検出システムを構築している^[2]。室内において 3cm 角程度まで

5: <http://awarehome.gatech.edu/>

6: <http://www.cc.gatech.edu/fce/ec/>

7: <http://oxygen.lcs.mit.edu/>

の3次元的な位置情報とユーザID情報をリアルタイムに取得できる。アプリケーションとしては、各ユーザーの行動範囲を示すマップを生成するものや、Smart Poster と呼ぶように紙ポスターの前でデバイスをクリックするとそのポスターの説明が音声で流れたり、近隣のデスクトップPCに情報を転送したりするものを提案している。ここで注目すべき点は、単一デバイスで様々なスケールのアプリケーションをシームレスに制御できる点と、ユーザが「その場で」メリットを享受できるアプリケーションと「後で」メリットを享受できるアプリケーションが共存している点が挙げられる。ユーザーの位置情報や、ユーザーのキーボードイベントやマウスイベントをロギングするような形で、ユーザーのコンテキストを取得する場合「その場で」/「後で」の両面でのメリットのバランスを考慮することもモバイル・ユビキタスコンピューティングの不可視化にとって重要なデザインの要素であると考えられる。

8. 透明なコンピュータのための課題

モバイル・ユビキタスコンピュータの不可視性・透明性を実現するには、必然的に、これまで以上に「人間」が、インタラクションのループに深く関わってくる。インタラクションデザインとして、以下のような要点のバランスを考慮する必要があるだろう。

8.1 多機能 vs 単機能

ユビキタスコンピュータの不可視性を実現するには、特定のタスクに見合った、異なる機能と異なる大きさのコンピュータを、適材適所的に用いることができる環境が必要である。ノーマンもこれまでの「パソコン」に加えて、比較的単機能な情報アプライアンスとそれらの組み合わせによって、ユーザーにとっても単純で、タスク指向な道具が提供できるとしている^[21]。一方、我々の多くはワープロ、電子メール、掲示板といった、様々なアプリケーションが「渾然一体」となった、多機能なコンピュータを日々用いている。

ユビキタスコンピュータのアプリケーションに実効性を持たせるには、簡単に操作できるインタフェースが必要だが、単純に機能を減らすだけでは、インタフェースの「レベルを下げる」だけになりかねない^[16]。単に機能を減らしたユビキタスコンピュータは、単純なタスク下ではうまく働くだらうが、我々人間がコンピュータに求める機能は、それほど単純なものだけではない。状況が複雑になれば、同じインタフェースではうまくいかなくなるだろう。単機能なユビキタスコンピュータの組み合わせで、ユーザーの主たるタスクをサポートできるかどうかは、インタラクションデザイナーの手腕にかかっていると言えるだろう^[35]。

8.2 自動 vs 手動

コンテキストウェア・アプリケーションでは、情報を得るタスクと、コマンドを実行するタスクという、2つのタスクについて、それらが自動的に行われるものと、ある程度ユーザーが手動で行うもの、という軸で分類できる(表2)^{[27][28]}。

表2 コンテキストウェア・アプリケーションの分類^{[27][28]}

	手動	自動
情報	近隣に存在するデバイスのリストを見て、ユーザーが自身の近隣にある情報を確認する。	ユーザーの位置に基づいてチャットなどのコラボレーションチャンネルが確立し、ポップアップメッセージが表示される。
コマンド	近隣のプリンターまでのルートを表示する。	モバイルコンピュータが近くのサーバにファイルをキャッシュする。

ユビキタスコンピュータの不可視性の実現にあたっては、システムが自動的に行う部分と、ユーザーが手動で行う部分を、うまくバランスさせる必要がある。コンテキストウェアアプリケーションにおける自動化については、過去の人工知能の失敗を踏まえて、懐疑的だという批判もある^[8]。この議論は直接操作(Direct Manipulation)とインタフェース・エージェント(Interface Agents)の比較に類似している^[29]。コンピュータシステムはデータを集積するのに優れ、人間はコンテキストを認識するのに優れている。ユビキタスコンピュータを不可視にするために、すべてを自動化するのではなく、煩雑な処理フローをインタフェース・エージェントが処理して、ユーザーには分かりやすい直接操作インタフェースを提供するといったように、ユーザーとシステムの互いの長所を生かした、適切なインタラクションデザインが必要であろう。

8.3 明示的 vs 暗黙的

ユビキタスコンピュータの不可視性とは、ユーザーが道具としてのコンピュータを意識することなく、自身のタスクに集中できることを指す。Tangible Bits は、物理的なオブジェクト、机や壁といった表面、実世界の空間を、デジタル情報で拡張しようという試みである^[13]。そこでは、物理世界とのインタラクションを、Foreground と Background の2つに分類している。物理的なオブジェクト、表面、空間触知可能なオブジェクトやコンピュータ情報で拡張された表面とのインタラクションを Foreground 情報、空間の光、音、空気の流れ、水の動きといったように人間が直接的に操作する訳ではないが周辺感覚としてとらえることのできる情報を Background 情報(Ambient Media)として定義している。

Kimura システムでは、ユーザーのデスクトップコ

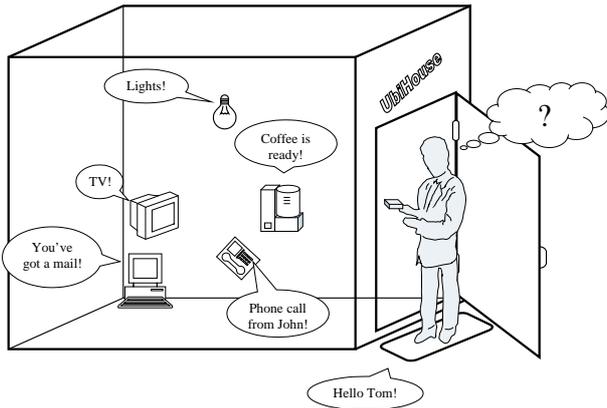


図1 びっくり箱インタフェース：あまりに間接的・暗黙的な操作が多いと「あいまいで」「何をしでかすかわからない」システムになってしまう。

Fig. 1 Jack-in-the-box interface: Too much implicit operation makes the system ambiguous and the user will not be able to know what it will be up to next.

コンピュータ、電子ホワイトボード、周辺機器の操作情報を記録し、「モニタージュ」と呼ぶ操作をタスク単位で視覚化した情報をユーザーのデスクトップの周辺に設置した大画面ディスプレイに表示している^[37]。ユーザーの注意資源がデスクトップ操作にあるときには、周辺のディスプレイは意識する必要はないが、情報は周辺で自動的に更新されていく。

ユーザーにとってあまりに直接的な操作が多ければ、操作感や安心感は得られるだろうが、煩雑なシステムになってしまう。他方、ユーザーにとってあまりに暗黙的な操作が多ければ、「あいまいで」「何をしでかすかわからない」びっくり箱のようなシステムになってしまう(図1)。これらの研究に見られるように、ユーザーが直接的・明示的に操作するインタフェースと、間接的・暗黙的に操作するインタフェースのバランスをとることが重要な課題となる。

9. キラーアプリケーション

9.1 パラダイムシフト

堺屋はその著書の中で、「知価社会」へのパラダイムシフトの必要性を提唱している^[25]。知価社会とは、近代工業社会のパラダイムから「知恵の値打ち」が中心となった社会のことである。近年のコンピュータの進歩により、インターネットを利用したビジネスは飛躍的に進んだ。これによってビジネスの仕方は変わったが、彼は、それらは単なる「仕方」の変化や、「仕掛け」の変更に過ぎないとしている。携帯電話やインターネットの利用内容を見ても、大部分がビジネスとかかわりのない友人とのやりとりや、ちょっとした会合の打ち合わせや、資料集めである。情報化の進展は、

ビジネスの仕方や仕掛けを変える以上に、個人的な満足や安心感を得るための情報量の増大に利用されている。そこでは、人間の欲求が、客観的に計り易い物財やサービスから、計り得ない主観的満足へと変わるとしている。ドラッカーもその著書の中で、産業革命を基盤とする現在の社会から、知識を基盤とする「知識産業社会」が訪れると予想している^[7]。

一方、ノーマンも彼のエッセイにおいて、製品は便利であり、機能的であるだけでなく、所有することに喜びを感じ、利用することに喜びを感じる、すなわち「見た目にも」魅力のある必要性を説いている^[22]。ノーマンは著書中で、これまでの「パソコン」に加えて、情報アプライアンスとそれらの組み合わせによって、ユーザーにとっても単純で、タスク指向な道具が提供できるとしていた^[21]。コンピュータがユーザーの視界から直接的には消えて、不可視(Invisible)あるいはCalmな存在となるというアイデアは、まさに本来のユビキタスコンピューティングの概念^[40]である。

ユビキタスコンピューティングや、ノーマンの不可視性・透明性の主張には賛同できる。しかし、それだけでは十分ではない。ユーザーのタスクに密着した計算システムや情報アプライアンスが、身の回りに遍在することは確かに便利である。しかし、そのようなちょっとした利便性だけで、ユビキタスコンピューティングを押し進めるキラーアプリケーションが成立するであろうか。

ここで、堺屋やドラッカーの主張を考えると納得がいく。コンピュータが遍在するという主張、あるいはノーマンのInvisible Computerの主張だけでは、「仕方」の変化や「仕掛け」の変更に過ぎない。主観的満足が大きなパワーとなる「知価社会」(ここではそう呼んでおく)にパラダイムシフトするということは、コンピュータを分散協調型にしたり、インタラクション手法を不可視にするだけでは、一定のインパクトはあるだろうが、十分ではない。これらの技術が、今後起こり得る変容した社会において存在意義を持つためには、ユーザーの主観的満足が大きなパワーとなることを「明に意識した」アプローチが必要であろう。

このような意味においても、HCI研究者が、ユビキタスコンピューティングにおける仕方の変化や、仕掛けの変更にのみ、目を向けている限りは、少なくともHCIの領域からは、ユビキタスコンピューティングに関する真のキラーアプリケーションは生まれまいだろう。産業界の求めるユビキタスへのニーズを描くと同時に、さらなる変容する社会へのニーズに対する答えが求められている。

9.2 キラーアプリケーションを探せ

では、環境や物に設置されたコンピュータ、モバイルコンピュータ、ウェアラブルコンピュータなどで実現される、ユビキタスコンピューティングのキラーアプリケーションとは何であろうか。コーヒーカップにコンピュータが内蔵された時^[6]、それをどう使ったら人々が幸福になれるだろうか？この質問に答えることが、いかに困難であるかは、コンピュータの短い歴史を振り返ってみると明白かもしれない。

コンピュータ利用形態の歴史は、

- メインフレーム
- パーソナルコンピュータ (PC)
- ユビキタスコンピューティング

と変遷して来た。PC が誕生した時、人々は、メインフレームでやっているような仕事が、個人でもできるのだと、心踊らせたのであった。実際、初期の PC は、プログラム開発や事務処理に利用されていた。その時期、家庭でプログラムを書いたり事務処理を行う需要は少ない、という判断にもとづき、家庭への PC の普及について、悲観的な見方がされていた。PC が急速に家庭に普及している現在、家庭の PC では、だれもプログラムを書いていないし、表計算やワープロ作業も主たる用途では無い。インターネットから情報を得たり、電子メールでコミュニケーションする為に、人々は PC を購入している。コンピュータをメディアとして使う^[15] ことがキラーアプリケーションであった。だがメインフレームの時代にこれを予想することは困難であった。

当時の状況は、ユビキタスコンピューティング時代の入り口にある現在と類似している。我々は、現在のアプリケーションを基に、未来のキラーアプリケーションを予想しがちである。たとえば、ユビキタスコンピューティングになり、人々がどこでも WWW、電子メールなどの、インターネットサービスにアクセスできるようになるという予想は、PC 時代の初期の誤った未来予想と同類かもしれない。

未来を予測する困難さにあえて立ち向かって、キラーアプリケーションを予想してみると、次のようなカテゴリーに分類されるのではないかと、筆者は考える。

- デジタル世界の情報の表示装置
インターネットなどのデジタル世界の情報を、生活の場にタイムリーに表示する装置。たとえば、インターネットトースター⁸ は、インターネット上の天気予報情報を、トーストの焦げ目で表示する装置である。だれでも簡単な操作（もしくは操作無しで）、ネットワーク上の情報を、生活環境

に溶け込んだ形で受け取るようなアプリケーションである。

- カジュアルなコミュニケーション
一人暮らし老人のように遠隔地で暮らす家族や、サテライトオフィスで働く人などを対象に、遠隔地の親しい人同士に「つながり感^[20]」を提供する装置。そのために、センサや簡単な操作などにより、映像、音、手触りなどの非言語なアウェアネスを伝達する。inTouch^[3]、FamilyPlanter^[20]、Peek-A-Drawer^[32] などの研究がこのカテゴリーを目指している。
- 物探しと記憶の支援
ウェアラブルコンピュータにより撮影された過去の写真に、無くしたセーターが写っていたため、探し出すのに役立ったという報告がある^[17]。このように、ユビキタスコンピュータを物探しの道具や、記憶の補助として利用する用途が有望である。Aware Home では、料理の進ちょく状況を記録して物忘れに対応するキッチン^[23] や、内容物を記録して物探しを支援する引き出し家具^[33] などが試作されている。

PC に比べて、ユビキタスコンピューティングは、非常に多様性に富んでいる。そこで、少数のキラーアプリケーションを得て急激に普及した PC とは違い、ユビキタスコンピューティングの場合は、いくつものキラーアプリケーションを得ながら、徐々に普及していくことになるかもしれない。そのキラーアプリケーション探しの一端を担うのは、ユーザー研究を通して、人とコンピュータの関係を研究してきた HCI 研究者であろう。もちろん、キラーアプリケーションを予測するのではなく、Alan Kay の言うように、未来を創ってしまうのが課せられた仕事である。

10. おわりに

モバイルコンピューティングとユビキタスコンピューティングの展望と、HCI 研究の果たす役割の大きさについて述べた。

コンピュータ利用の状況が大きく変わることで、ここで紹介した以外に、数多くの研究テーマが生じてくると考えられる。たとえば、ユビキタスコンピューティングの時代には、現在と全く異なる形の認証技術が重要になるだろう。現在のコンピュータでは、パスワードを使ったり、ハードウェアを厳重に管理することで、利用できる人を限定している。コンピュータが透明な存在になったとき、パスワードや物理的な錠は馴染まない。誰がどこで何をやる権利があるのかについての本質を、容易な手法で制御できるような認証手法が重要になり、これが HCI の一つの課題になるであろう。

近い将来、モバイルとかユビキタスという言葉自体が死語になるくらいに、こういう使い方があたりまえになるであろう。ユビキタスコンピューティングへのシフトにともない、HCI 研究の対象は、実世界へ、現実の場所や物や環境へ、地球上の全ての人々へと、拡大し多様化しつつある。その中で、多様なインタフェース手法を駆使して、人と物が置かれた状況を活用し、コンピュータを意識させない透明な、控えめなインタフェースを発想していかねばならない。また、日常のあらゆる場面における多様なユーザーを研究し、生活に根ざした数々のキラーアプリケーションを探しあててゆくことも期待されている。コンピュータが日用品になるにつれて、何百年にもわたるユーザー研究の蓄積のある、服や家具のような生活用品の設計に学ぶことになるかもしれない。メインフレームから PC の時代になり、HCI 研究が大いに注目されたのと同様に、我々は再び大きなチャレンジに直面している。

参考文献

- [1] G.D. Abowd, E.D. Mynatt, T. Rodden, The Human Experience, Pervasive Computing January-March, pp.48-57, 2002.
- [2] M. Addlesee, R. Curwen, S. Hodges, J. Newman, P. Steggle, A. Ward, A. Hopper, Implementing a Sentient Computing System, IEEE Computer Magazine, Vol. 34, No. 8, August, pp. 50-56, 2001.
- [3] S. Brave, H. Ishii and A. Dahley, Tangible Interfaces for Remote Collaboration and Communication, in Proceedings of CSCW '98, ACM, Nov. 1998.
- [4] B. Brumitt, B. Meyers, J. Krumm, A. Kern, and S. Shafer, EasyLiving: Technologies for intelligent environments, In Proc. of the Second International Symposium on Handheld and Ubiquitous Computing, pp.12-29, Springer-Verlag, 2000.
- [5] A.K. Dey, G.D. Abowd, and D. Salber, A Conceptual Framework and a Toolkit for Supporting the Rapid Prototyping of Context-Aware Applications, HCI, vol.16, pp.97-106, 2001.
- [6] H.W. Gellersen, M. Beigl and H. Krull, The Mediacup: Awareness technology embedded in an everyday object, Proceedings of the First International Symposium on Handheld and Ubiquitous Computing (HUC99), Lecture Notes in Computer Science No. 1707 (Springer-Verlag, 1999), pp. 308-310, Sep. 1999.
- [7] P. ドラッカー, 上田淳生訳, 「ネクストソサエティ」, ダイアモンド社, 2002.
- [8] T. Erickson, Some Problems with the Notion of Context-Aware Computing, In Communications of the ACM, vol.45 no.2. Feb., pp.102-104, 2002.
- [9] S. Feiner, B. MacIntyre and D. Seligmann, Knowledge-based augmented reality, Communications of the ACM, 36(7): pp. 52-62, ACM Press, July 1993.
- [10] 平川正人・安村通晃編, ビジュアルインタフェース- ポスト GUI を目指して, 共立出版, 1996.
- [11] 伊賀聡一郎, 安村通晃, 実世界オブジェクトを利用するユーザーインタフェースと障害者支援技術への応用, ヒューマンインタフェース学会 論文誌 Vol.1, No.1, Feb. 1999.
- [12] 伊賀聡一郎, 安村通晃, AugPen: ペンタブレットとオーバーレイ技術を用いた拡張現実感システム, 情報処理学会 インタラクシオン 2000, 2000.
- [13] H. Ishii, B. Ullmer, Tangible Bits: Towards Seamless Interfaces between People, Bits and Atoms. In Proc. of CHI'97, pp.234-241, ACM, 1997
- [14] 石井裕, ユビキタスの混迷の未来, ヒューマンインタフェース学会誌, Vol.4 No.3, pp.129-130, 2002.
- [15] A. Kay, A. Goldberg, Personal Dynamic Media. In: IEEE Computer. Vol. 10 No. 3 March, 1977.
- [16] H. Lieberman, T. Selker, Out of context: Computer systems that adapt to, and learn from, context, IBM Systems Journal, Vol.39, NOS 3&4, pp.617-632, 2000.
- [17] S. Mann, "Smart clothing": wearable multimedia computing and "personal imaging" to restore the technological balance between people and their environments, Proceedings of the fourth ACM international conference on Multimedia, pp. 163-174, 1997.
- [18] 増井俊之, 動的ボタンマッチを用いた高速文章入力手法, インタラクティブシステムとソフトウェア V, WISS'97, 近代科学社, Dec. 1997.
- [19] 溝淵佐知, 任 向実, 安村通晃, 携帯情報機器でのターゲットポインティング課題におけるペンの長さの効果, 情報処理学会 インタラクシオン 2003, Feb. 2003.
- [20] 宮島麻美, 伊藤良浩, 伊東昌子, 渡邊琢美, つながり感通信: 人間関係の維持・構築を目的としたコミュニケーション環境の設計と家族成員間における検証, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.5 No.2, pp.171-180, May 2003.
- [21] D.A. Norman, The Invisible Computer: Why Good Products Can Fail, the Personal Computer Is So Complex, and Information Appliances Are the Solution, Cambridge MA, MIT Press, 1998. (邦訳: 岡本明, 安村通晃, 伊賀聡一郎, パソコンを隠せ, アナログ発想でいこう, 新曜社, 2000.)
- [22] D.A. Norman, Emotion & Design: Attractive things work better, Interactions, ix (4), pp.36-42, 2002.
- [23] Q. Tran, E. Mynatt, Cook's Collage: Two Exploratory Designs, Position paper in "Technologies for Families" workshop at CHI 2002, Apr. 2002.
- [24] J. Rekimoto, K. Nagao, The World through the Computer: Computer Augmented Interaction with Real World Environments, Proceedings of UIST'95, pp. 29-36, Nov. 1995.
- [25] 堺屋太一, 「日本の盛衰 - 近代百年から知価社会を展望する」, PHP 新書, 2002.
- [26] 坂村健, ユビキタス・コンピュータ革命, 角川書店, 2002.
- [27] B.N. Schilit, N. Adams, and R. Want, Context Aware Computing Applications, In Proc. of Workshop on Mobile Computer Systems And Applications, pp.85-90, 1994.
- [28] B.N. Schilit, D.M. Hilbert, and J. Trevor, Context-Aware Communication, In IEEE Wireless Communications, Oct., pp.2-10, 2002.
- [29] B. Shneiderman and P. Maes, Direct Manipulation vs Interface Agents, Interactions November-December, pp.42- 61, 1997.
- [30] I. Siio, InfoBinder: A Pointing Device for Virtual Desktop System, Proceedings of HCI International '95, pp. 261-264, Elsevier Science, July 1995.
- [31] I. Siio, Y. Mima, IconStickers: Converting Com-

puter Icons into Real Paper Icons, Human-Computer Interaction, Ergonomics and User Interfaces, Volume 1 (HCI International '99) pp. 271-275, Aug. 1999.

- [32] I. Siio, J. Rawan, and E. Mynatt, Peek-A-Drawer: communication by furniture, Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computer Systems (ACM CHI 2002), pp. 582-583, April 2002.
- [33] I. Siio, J. Rowan, N. Mima, E. Mynatt, Digital Decor: Augmented Everyday Things, Proceedings Graphics Interface 2003, pp. 159-166, Jun. 2003.
- [34] 角康之, 実世界インタラクションにおける状況認識の役割, システム制御情報学会誌「システム/制御/情報」, Vol. 47, No. 4, pp. 179-184, 2003.
- [35] 角康之, 情報可視化システムにおける適応的インタラクション, 人工知能学会誌, Vol. 14, No. 1, pp. 33-40, 1999.
- [36] 垂水浩幸, 森下健, 中尾恵, 上林弥彦, 時空間限定型オブジェクトシステム: SpaceTag, インタラクティブシステムとソフトウェア VI, 近代科学社, 1998.
- [37] S. Volda, E.D. Mynatt, B. MacIntyre, and G.M. Corso, Integrating Virtual and Physical Context to Support Knowledge Workers, Pervasive Computing, July-September, pp.73-79, 2002.
- [38] R. Want, A. Hopper, V. Falcao, and J. Gibbons, The active badge location system, ACM Transactions on Information Systems, vol. 10, pp. 91-102, Jan. 1992.
- [39] R. Want, B. Schilit, N. Adams, R. Gold, K. Petersen, D. Goldberg, J. Ellis, and M. Weiser. The ParcTab ubiquitous computing experiment. Technical Report CSL-95-1, Xerox PARC, 1995.
- [40] M. Weiser, The Computer for the 21st Century. *Scientific American*, 265 (3), pp. 94-104, 1991. (邦訳) M. ワイザー, 21世紀のコンピューター, 日経サイエンス, Nov. 1991.
- [41] M. Weiser, Creating the invisible interface:(invited talk) . *Proceedings of the 7th annual ACM symposium on User interface software and technology*, p.1, November 1994.
- [42] P. Wellner, Interacting with paper on the DigitalDesk. *Communications of the ACM*, 36(7):87-96, July 1993.
- [43] 山田茂樹, 上岡英史, コピキタスコンピューティング; ネットワークとアプリケーション, 電子情報通信学会論文誌 B Vol. J86-B No.6, pp.863-875, 2003.

(2003年8月1日受付, 8月1日再受付)

著者紹介

椎尾 一郎 (正会員)



1984年東京工業大学大学院総合理工学研究科博士課程修了。同年, 日本アイ・ビー・エム株式会社東京基礎研究所に入社。1997年玉川大学工学部電子工学科助教授をへて2002年より教授。2001年から1年間, 米国ジョージア工科大学客員研究員。実世界指向インタフェース, コピキタスコンピューティングを中心に研究。ソフトウェア科学会, 情報処理学会, ヒューマンインタフェース学会, ACM 会員。博士(工学)。

安村 通晃 (正会員)



1947年生。1971年東京大学理学部物理学科卒。1975~1977年UCLA留学。1978年東京大学理学系大学院博士課程(情報科学専攻)満了。(株)日立製作所中央研究所主任研究員を経て, 1990年4月より慶應義塾大学環境情報学部助教授。現在, 同教授。理学博士。実世界指向インタフェース, マルチモーダルインタラクション, ユニバーサルデザイン等の研究に従事。情報処理学会, ヒューマンインタフェース学会, 日本ソフトウェア科学会, 日本認知科学会, 日本教育工学会, ACM 各会員。

福本 雅明 (正会員)



1964年生。1988年電気通信大学応用電子工学科卒業, 1990年同大学院修士(電子工学専攻)修了。同年, 日本電信電話(株)入社。以来, 各種インタフェースデバイスの研究に従事。NTTヒューマンインタフェース研究所を経て, 現在NTTドコモマルチメディア研究所主任研究員。電子情報通信学会, 情報処理学会, ヒューマンインタフェース学会, ACM 各会員。博士(工学)。

伊賀 聡一郎 (正会員)



1999年慶應義塾大学大学院政策・メディア研究科博士課程了。1999年日本学術振興会特別研究員(COE)。2000年(株)リコー入社。以来, CSCWシステム, コンテキストウェアシステムを中心に研究。情報処理学会, 日本VR学会各会員。博士(政策・メディア)。

増井 俊之 (正会員)



1984年東京大学大学院工学系研究科電子工学専攻 修士課程修了。1984年4月富士通(株)半導体事業部, 1986年シャープ(株)コンピュータシステム研究所, 1989年カーネギーメロン大学機械翻訳研究所客員研究員, 1991年シャープ(株)情報技術研究所, 1996年(株)ソニーコンピュータサイエンス研究所を経て, 2003年より独立行政法人 産業技術総合研究所 情報処理研究部門。博士(工学)。