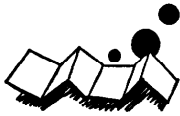


解説



エディタ設計のためのユーザ・モデル†

来住 伸子††

1. はじめに

計算機のユーザ層が拡大するにつれ、使いやすいユーザ・インタフェースの必要性が高まってきた。そしてハードウェアの性能向上と価格低下により、応答時間の短縮、見やすい画面というようなユーザ・インタフェースのハードウェア面はかなりの改良がなされてきた。ところが、ソフトウェアにおける使いやすさとは何か、それを向上させるための方法は何かということについては一定の答が見つかっていない。「ユーザの立場にたって考える。」とか、「細かな気くばりをしよう。」ということがよく指摘されるが、実際にユーザ・インタフェースを設計する時に何をしたらいいのか具体的に明示されることは少ない。

このような状況に疑問をもち、実用性を重視した心理学、ユーザ・インタフェース設計に直接役立つような心理学を確立しようという研究者が最近現われはじめた。厳密に言えばこの研究分野はまだ心理学に分類されていない。応用心理学出身の人だけでなく人間工学、ソフトウェア工学、認知心理学、人工知能などさまざまな分野出身の人が参加しているために認知工学 (Cognitive Engineering)、ソフトウェア心理学 (Software Psychology) という新しい造語が使われたり、人間的側面 (Human Factor) についての研究、人間と機械の対話系 (Human-Computer Interaction) についての研究という表現が使われている。

共通しているのは、ユーザを情報を処理するシステムとしてとらえ、それをモデル化することによって使いやすい対話型システムの開発に役立つ手法を提供しようという点である。この背景には人工知能や認知心理学の発達と、アメリカ流の実用主義の影響がある。つまり、対話型システム全体の性能は計算機の処理能力だけでなく、人間の情報処理能力によっても制限さ

れ、使いやすいユーザ・インタフェースとは人間と計算機という2つの情報処理システムを最も効率よく動かすインタフェースであるという考えに基づいている。そして、ユーザの情報処理のしくみを手軽に調べるには、簡略化したモデルを作ることが有効だと考えている。

この解説では以上のような動きの中から、ユーザ・モデルを意識的に考える設計法が生まれるまでの過程 (第2章) と2つのユーザ・モデルの使用例 (第3章、第4章) を紹介する。この分野では数少ない教科書、“The Psychology of Human-Computer Interaction”¹⁾ と ACM の SIGCHI の出版物に基づいて紹介するので必ずしも最も代表的な例ではないことを予めおことわりしておく。

2. ユーザのモデル化の始まるまで

パーソナル・ワークステーションの研究と開発で知られる Xerox Palo Alto Research Center は1970年に設立された。その4年後、実験心理学の Stuart K. Card と Thomas P. Moran を中心として Applied Information-Processing Psychology Project と呼ばれる小規模な部門がそこに設立された。計算機の応用に役立つ心理学実験を行うことを目的としていた。たとえばここで行われたマウス、ジョイスティック、ファンクション・キー、文字キーの比較対照実験の結果²⁾ がゼロックス社がマウスを指示器として採用する主な理由の1つとなった。

また、テキスト・エディタの使いやすさの比較対照のために、

- 初心者が一定の作業が行えるようになるまで、どの位の時間の学習が必要か。
 - 熟練したユーザが、一定の作業を行うには何時間かか、何回誤りを犯すか。
 - テキスト処理に必要な機能をどの程度実現しているか。
- などの調査を行った。

† User Models for Text Editor Design by Nobuko KISHI (Science Institute, IBM Japan, Ltd.).

†† 日本アイ・ビー・エム(株)サイエンス・インスティテュート

やがて、比較対照するだけでは、新しい対話型システムを実際に設計するときにあまり役立たないこと、種々のソフトウェアが生まれる現状になかなか追いつけないこと等の反省がなされた。そして、Keystroke-Level Model と GOMS Model の2つのユーザ・モデルが提案された^{3),4)}。この2つのモデル、特に Keystroke-Level Model は、様々なエディタの上で追試^{5),6)}が行われている点から重要なユーザ・モデルと考えられる。しかし、すでに日本語による紹介が本誌でされていること⁷⁾、原論文を手に入れやすいことの2点からここではその2つのモデルの具体的な紹介は略させていただく。

Card 達の考えでは、計算機科学における応用心理学の役割は、使いやすさの指定に役立つユーザの動作モデルをシステムの設計者に与えることにある。そして使いやすさとは、Performance (効率, 作業量) として測定できるものを指す。測定できるものとしては前述のエディタ評価で使用した学習時間, 作業時間, 機能性に加えて、疲労度, 記憶負荷 (覚えなくてはならない情報の量) などをあげている。

この Performance に影響を与えるシステムの要素は3つに分けられる。ユーザと計算機とそれらが処理しようとしている仕事の3つである。Card 達はこれを

Task + User + Computer
→ System Performance

と表現している。また、モデルというものはこの関係を推定させるもの、すなわち

Model (Task, User, Computer)
→ Performance Prediction

であると述べている。そして、ユーザ・インタフェースの設計が、モデルを使った Performance の予測によって最適な選択をするという形でなされることを理想としている。

3つの要素のうち、ユーザに関わる部分を主にモデル化したものをユーザ・モデルと呼ぶが、ユーザ・モデルの表現方法としては以下のようなものが考えられる。

- (1) 記号
- (2) 実験
- (3) チェックリスト

(1) は、Keystroke-Level Model のように記号化によりユーザの動作を記述することをさす。(2) は、実際に被験者を使って実験を行い、その結果をユーザ全

般の動作と同じであると考えられる場合にあてはまる。

(3) は、記号モデルほどユーザの動作をくわしく記述しないが、過去の経験、データをまとめたものをさす。このあとの2つの章では、(1)と(3)の表現法を使った The Model Human Processor と、(2)を実際に用いた例を、Star のユーザ・インタフェース設計の中から紹介する。

3. The Model Human Processor

3.1 The Model Human Processor の構成要素

ユーザ・インタフェース設計者が、過去の実験心理学の成果を手軽に使うためのユーザ・モデルとして Card 達は、The Model Human Processor を提案している (図-1)。これは、実際に人間の内部がプロセッサから成っているということを中心とするのではなく、人間と計算機とのアナログで考えることがユーザのふるまいの予測に有効だということを中心とするためのモデルである。

The Model Human Processor では、ユーザは、

- (1) 記憶装置とプロセッサ
- (2) 動作原理 (Principles of Operation)

で記述される。(1)の記憶装置とプロセッサは、さらに3つのサブシステムに分けられる。

- (i) 知覚システム (Perceptual System)
- (ii) 動作システム (Motor System)
- (iii) 認知システム (Cognitive System)

この3つのサブシステムそれぞれに記憶装置とプロセッサがあるとする。

まず知覚システムには、いくつかの感覚器 (Sensory System—目, 耳, 皮膚など) と、その感覚器ごとにバッファメモリがある。図-1に示されている視覚を例にとると、目から入力された情報は最初に目のバッファメモリである Visual Image Store に置かれる。そして知覚システムのプロセッサによって内部表現に変換される。認知システムはバッファメモリを通じて変換された情報をうけとり短期記憶におく。そしてすでに長期記憶に保存されている情報を参照しながら受取った情報を解析し、どのような反応をすべきかを判断する。動作システムはその判断を実際の動作に変換する。この3つのサブシステムは並列に動くこともあるし、逐次に動くこともある。熟練したタイピング、同時通訳というような作業は3つのシステムが並列に動く割合が高く、意識による中断が必要な作業は逐次に動く割合が高いと考えられる。

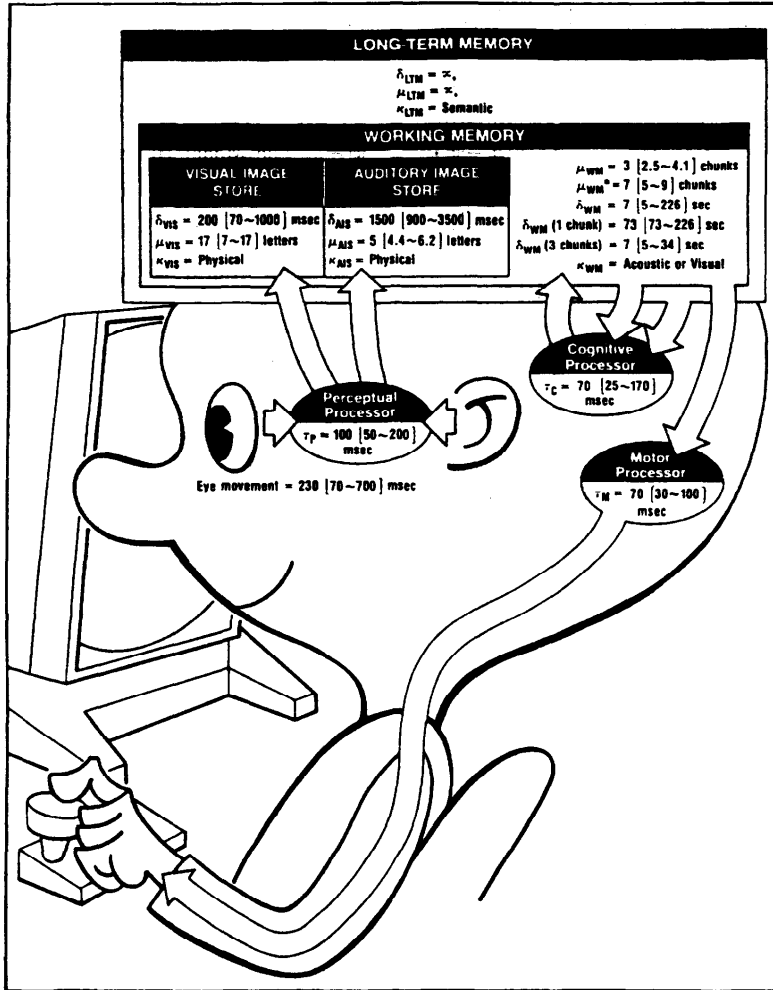


図-1 The Model Human Processor

(出典: Card, S. K., Moran, T. P. and Newell, A.: The Psychology of Human-Computer Interaction, Lawrence Erlbaum Associates.)

これらのサブシステムのふるまいはいくつかのパラメータと表-1に示す動作原理によって、さらにくわしく記述されている。主なパラメータをあげると、プロセッサについては、

τ : 1 サイクルの実行時間

記憶装置については

μ : 記憶容量

δ : 記憶の減衰時間

κ : 記憶される情報の型 (Code Type)

などがある。動作原理はこれらのパラメータ間を P0 から P9 までの 10 個の経験則によって表現した

ものである。P1 などからわかるように実行時間はいくつかの要因によって変化する。しかし、過去の実験から、知覚システムの 1 サイクルの実行時間 τ_P は、100[50-200] ミリ秒^{*}、動作システムの実行時間 τ_M は 70[30-130] ミリ秒、認知システムの実行時間 τ_C は、70[25-170] ミリ秒であることが推定されている。

前述の教科書では The Model Human Processor を基にしたユーザのふるまいの推定の仕方を 19 例あげている。次の 2 つの節では、そのうちの 2 例を紹介する。

* 最初の数字は平均値を示し、[]内は最小値と最大値を示す。

表-1 The Model Human Processor の動作原理

<p>P0 (認知システムの読み込み実行サイクル) 認知システムの1サイクルでは短期記憶の内容にもついで長期記憶に保存されていた操作を読みだしたのち、その操作が実行され短期記憶の内容が変更される。</p> <p>P1 (知覚システム実行速度の変動則) 入力刺激が強いほど知覚システムのサイクルタイムは短い。</p> <p>P2 (情報の型——コード・タイプによる個別則) 入力情報がどのような型に変換されるかによって、その情報の保存や想起の方法は異なる。</p> <p>P3 (記憶の想起における判別則) 手がかりから判別することのできる候補が多い場合ほど、記憶の想起は難しくなる。</p> <p>P4 (認知システムのサイクルタイムの変動則) 認知システムのサイクルタイムは、処理要求や処理すべき情報の増加のために、より努力がなされるようになると短縮される。また練習によっても短縮される。</p> <p>P5 (Fitts の法則) 距離 D はなれた位置から大きさ S の目標物に手を伸ばすのに必要な時間 T は次の式で表わせる。 $T = I_M \log_2(D/S + 0.5)$ ただし、$I_M = 100[70 \sim 120]$ ミリ秒/ビット</p> <p>P6 (練習のべき乗則) n 回目の作業に要する時間 T_n は次の式で表わせる。 $T_n = T_1 n^{-\alpha}$</p>	<p>ただし、$\alpha = 0.4[0.2 \sim 0.6]$</p> <p>P7 (不確定性原理) 判断や決定にかかる時間 T は不確定性とともに増加する。 $T = I_c H$ ここで H は決定しなくてはならない事象のもつエントロピであり、$I_c = 150[0 \sim 157]$ ミリ秒/ビット。たとえば、n 個の同じように正しそうな選択肢があるときは、 $H = \log_2(n+1)$ n 個の選択肢それぞれが確率 P_i で正しそうなときは $H = \sum_i P_i \log_2(1/P_i + 1)$ で H を定めることができる。</p> <p>P8 (合理則) しようとしている仕事の内容と入力情報が与えられ知識や情報処理能力が限られたものであるとき、人間はそれらの制限の下で合理的に行動して目的を達成しようとする。 Goals + Tasks + Operatas + Inputs + Knowledge + Process-limits → Behavior</p> <p>P9 (問題の解空間) 人間がある問題を解決しようとしている時の合理的な行動は次の4要素によって記述できる。 (1) 知識の状態の集合。 (2) 状態の変換に必要な操作。 (3) 操作を適用するときの制約条件。 (4) 適用すべき操作を選択するという制御に必要な知識。</p>
---	--

3.2 電卓の関数キーの位置と動作時間の関係の

推定

電卓では関数キーと数字キーを交互に打つ動作が多い。関数キーと数字キーの間が2インチ離れている場合と1インチ離れている場合では、キーを押す間隔がどれくらい変わってくるかを、P5のFittsの法則から予測できる。Fittsの法則、 $T = I_M \log(D/S + 0.5)$ については、 I_M は約100ミリ秒であることが実験によって推定されているので、キーの大きさを0.25インチとすれば時間の差は

$$\begin{aligned} \Delta T &= 100 \{ \log(2/0.25 + 0.5) \\ &\quad - \log(1/0.25 + 0.5) \} \\ &= 100 - \{ 3.09 - 2.17 \} \\ &= 90 \text{ (ミリ秒)} \end{aligned}$$

であることが予測できる。これは、1インチまたは2インチはなれたキーを15秒間に何回、交互に打てるかという実験によって得られた値、70ミリ秒とかなり一致している。

ここで、Fittsの法則について説明を加えておく。Fittsの法則は、1954年にFittsが実験から推定式として得たものだが、後にCrossmanらによって次のような説明がなされた。図-2のように、距離 D はなれた、大きさ S の目標物に人間が手を伸ばそうとすると、瞬間的に手が届くわけではない。距離の確認と動

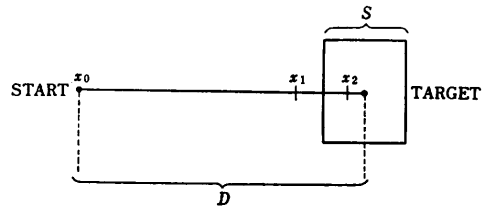


図-2

作の修正を繰り返しながら行う。この繰り返しの1サイクルにかかる時間は、 $\tau_P + \tau_C + \tau_M$ (知覚、認知、動作システムの各サイクルにかかる時間の和) であり、 ϵ の割合で目標に近づくとする。つまり i サイクル後の目標物からの距離を x_i とすると、1サイクルごとに $x_i/x_{i-1} = \epsilon < 1$ の割合で近づくと考え。最初の距離を D とし、 n サイクル後に目標物に届いたとすると、

$$\epsilon^n D \leq \frac{1}{2} S$$

がなりたつ。対数をとることにより、

$$n \approx -\log(2D/S) / \log \epsilon$$

したがって、目標物に手が届くまでの時間 T は

$$\begin{aligned} T &= n(\tau_P + \tau_C + \tau_M) \\ &= -\frac{(\tau_P + \tau_C + \tau_M)}{\log \epsilon} \log(2D/S) \end{aligned}$$

になる。 $I_M = -\frac{(\tau_P + \tau_C + \tau_M)}{\log \epsilon}$ に対して、 $\tau_P + \tau_C + \tau_M$

表-2 The Model Human Processor による4種の作業時間の推定

	作業 1 Simple Reaction	作業 2 Physical Match	作業 3 Name Match	作業 4 Class Match
知覚から認知システムへの伝達	τP	τP	τP	τP
形の認識	—	—	τC	τC
クラスへの分類	—	—	—	τC
短期記憶にすでにある情報との比較	—	τC	τC	τC
動作の決定	τC	τC	τC	τC
動作	τM	τM	τM	τM
合計	$\tau P + \tau C + \tau M$	$\tau P + 2\tau C + \tau M$	$\tau P + 3\tau C + \tau M$	$\tau P + 4\tau C + \tau M$

τP : 知覚システムのサイクルタイム, τC : 認知システムのサイクルタイム, τM : 動作システムのサイクルタイム

=240ミリ秒, $\epsilon=0.07$ という測定値を代入することにより, I_M は63ミリ秒/ビットになる。ただし, The Model Human Processor では, この式ではなく, より近い近似式として P5 を採用している。

3.3 簡単な判断をともし作業にかかる時間の推定

ユーザがある記号を認識してから動作するまでの反応時間は, 認知システムでの判断にどれ位の時間がかかるかによって変わる。The Human Model Processor を用いると, 見かけ上よく似た4種の作業の反応時間が以下のように異なることが予測できる。

(作業1) [Simple Reaction]

端末画面上に何かが現われたならばボタンを押す。
—240ミリ秒

(作業2) [Physical Match]

画面上に2つの記号が順に表示される時, 2番目の記号が1番目の記号と同じ形ならばボタンを押す。
—310ミリ秒

(作業3) [Name Match]

画面上に2つの記号が順に表示される時, 2番目の記号が1番目の記号と同じ名前を持つならば(たとえば a と A), ボタンを押す。
—380ミリ秒

(作業4) [Class Match]

画面上に2つの記号が順に表示される時, 1番目の記号と2番目の記号が同じクラスに属するとき(たとえば共に文字であるか, または共に数字である場合), ボタンを押す。
—450ミリ秒

この時間は, 4種の作業にかかる手間を表-2のように計算して予測した。この予測は考えなくてはならないことが多くなると反応が遅くなるという直観的な考えと一致する。実際に実験で physical match と name match を比べると, 推定より10ミリ秒ほど長い約80

ミリ秒の差がでることが知られている。

4. 実験によるユーザ・モデルの調査 —ゼロックス社 Star の例

ゼロックス社の8010オフィス・ワークステーション—通称 Star は, 商品化された製品としては初めて使いやすさのための新しい多くの機能(マウスによるメニュー選択, 重ね合わせのできるウィンドウなど)を持ったシステムとして知られている^{8),9)}。その設計の基本方針として,

- ユーザがすでに持つ知識に合わせた明確な概念モデル。
- 想起 (recall) ではなく認識 (recognize) によるコマンド選択。
- オブジェクト・オリエンテッドの概念をもとにしたコマンド体系の統一。
- 端末画面上でのイメージと紙上でのイメージの一致などがあげられている。

この基本方針を実際の設計に生かすために, 被験者を使った実験による調査が用いられた。しかし, すべての設計が実験結果によって定められたのではなく, 多くの手法の1つとして実験による調査が用いられた。まず, 基本方針に沿って数多くのアイデアが提案された。そして, それらの有効性を調べるために主に次の3つの手法が使われた。

- 1) 実験システム上でのプロトタイプを作成。
- 2) 机上での分析および検討。
- 3) 上記の2つで判断できない場合は被験者を用いた実験による調査。

1) の実験システムとしては Alto が用いられた。たとえば Star の文章編集方式のいくつかは, BRAVO, BRAVOX, GYPSY ですでに使われていた。

- 2) の机上での分析には, 主に Keystroke-Level

Model が用いられた。オフィスでの標準的な作業を仮定し、あるコマンド配置にするとその作業にどの程度の時間がかかるかを推定した。つまり、新しいコマンドが作業全体の効率化に役立つかどうか、より短い動作列でコマンドを使えるようにするにはどうすればいいかを、Keystroke-Level Model によるシミュレーションで調べた。

3) の実験による調査は 15 種以上行われ、通算 400 時間以上が費やされた。CHI '83 で紹介されたそのうちの 2 つについてここで紹介する¹⁰⁾。

4.1 アイコンの形の決定のための実験

まず 17 のコマンドを選び、それらのアイコンの形のデザインを 4 人のグラフィック・デザイナーに依頼して 4 セット用意した (図-3)。そして、その 4 種それぞれに 5 人の被験者を使って、(i) アイコンを見てどのコマンドに対応するかどうかを正しく当てる率、(ii) 画面上に表示された多数のアイコンの中から指定されたアイコンを選ぶのにかかる時間、(iii) 与えられたセットの中の個々のアイコンのわかりやすさについての被験者の主観的評価、の 3 つについて調べた。(i) と (ii) の結果を図示したのが図-4 である。右下にあるアイコンほど間違えにくくわかりやすい。4 種のセットの差が明確にあるとは言えないが、反転したときの見やすさなどを考慮して図-3 の Set 1 が選ばれた。そしてさらに改良を加え、Star のアイコンには図-3 の最右列のアイコンが採用された。

4.2 テキスト選択コマンドのマウス・ボタンへの割りつけ

文章編集を行うときに最もよく使われるコマンドの 1 つは、テキストの一部分を選択するためのコマンドである。Star ではさらにそれを

- (1) Point——字と字の間を選択する。
- (2) Select——字、語、文などの単位で選択する。
- (3) Adjust——すでに選択したテキストの範囲を変更する。

の 3 つに分けている。

これらのコマンドを使うときにどのようにマウスを利用すればいいのかを次のような実験で調べた。まず、マウス・ボタンの数 (1~3 個)、2 度続けて押す動作 (double clicking) の有無、ボタンを押したまま

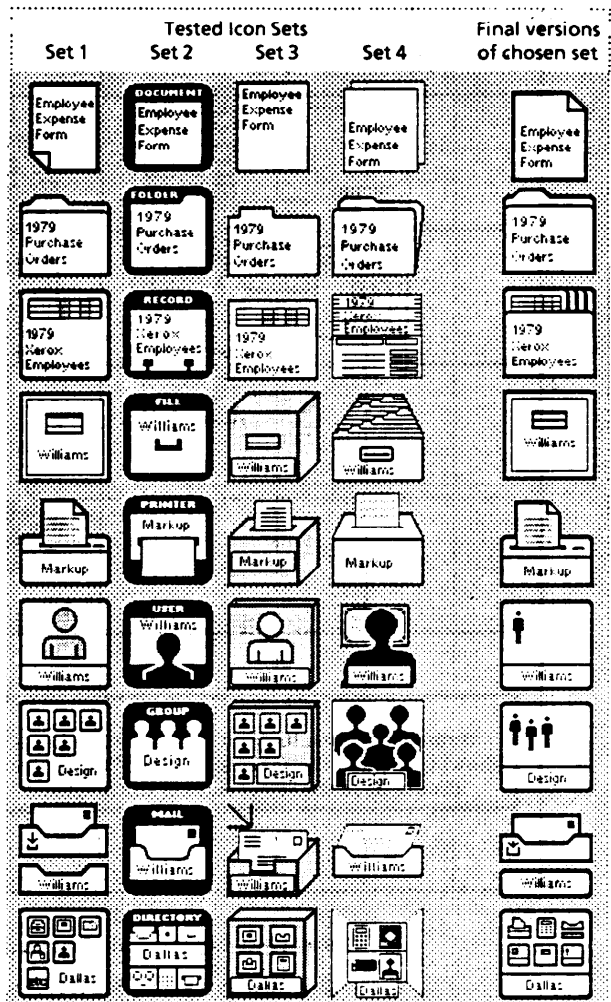


図-3 Star のアイコン (最右列) とその候補 4 種

でのマウスの移動 (Draw through) の有無という要素を組み合わせて、6 つの割りつけ方を考えた。そして、プロトタイプのエディタ上にその 6 つを実装しそれぞれ 4 人の被験者に習得させた。その後、10 種の作業を 6 回繰り返させて、しまちがいをする率と作業に要した時間を測定した。その結果、

- ボタンの数が少ないほど、しまちがいは少ない。
 - Draw through や double click をするとき、しまちがいを犯しやすい。
 - 2 つボタンを使う方法の中の 1 つが、作業時間が最も短い。
- という傾向が観察された。

そこで、この実験で最も作業時間の短かった方法に

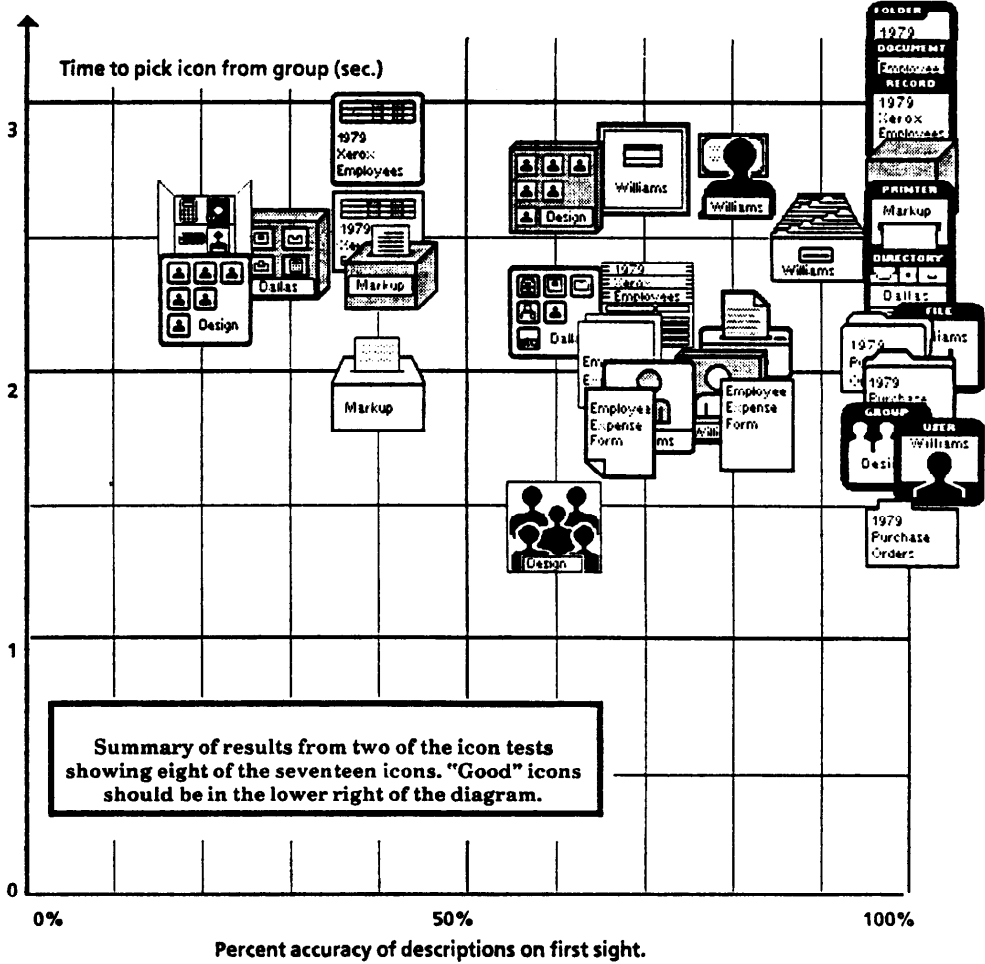


図-4 Star のアイコンの候補の見やすさとわかりやすさの比較
 (図-3, 4 の出典: Bewley, W. L., Roberts, T. L., Schroit, D. and Verplank, W. L.: Human Factors Testing in the Design of Xerox's 8010 Star Office Workstations.)

Draw through を使わないという改良を加えた割りつけ方を Star では採用した。2つボタンや double click はしまちがいの原因にはなるが、作業時間の短縮との得失を考慮して採用されることになった。

5. おわりに

対話型システムのユーザのモデル化をエディタ設計に生かす手法を2つ紹介してきた。実験心理学の現在までの成果を単純化して記号モデルにした The Model Human Processor と、実験によるモデル化によってユーザのふるまいを推定した Star の設計過程の一部である。

この他にも対話型システム設計のためのモデルは提案されている。ユーザのふるまいのモデルだけでなく、計算機のモデルや仕事のモデルも対話型システム全体のモデル化が必要になってくるからだ。この2つの面からのモデル化については、スペースの都合上、筆者の知ることのできたいくつかの研究の名だけを紹介させていただく。まず、対話型システムにおける計算機のふるまいを記述しようとした研究としては、Reisner の BNF 記法によるグラフィック・システムの記述¹¹⁾、Jacob の状態遷移図によるメッセージ・システムの記述¹²⁾、Feldman の Functional Programming によるテキストエディタの記述¹³⁾ などがある。

ユーザが仕事について持つ知識, 特にテキストエディタについての知識のモデル化としては, 仕事をサブゴールに分割してとらえる GOMS モデル⁴⁾, 認知心理学のスキーマの概念を使った Bott のモデル¹⁴⁾などがある。

これらのモデル化の試みから学ぶべき点は, 使いやすいユーザ・インタフェースをもつソフトウェアの開発には先駆的システムの機能そのものではなく, それを開発するための方法を参考にすべき点という点である。たとえば最近新しい機能を持つシステムのユーザ・インタフェースに日本人向きに修正を加えることが多くなってきた。その際, 英語を適当に日本語に置きかえるだけになりがちだ。しかし, アイコンにしても欧米と日本で同じ形がそのまま使えるのだろうか。逆の例では日本語ワープロの編集機能と英文テキストエディタの編集機能にどうして大きな差があるのだろうか。現在のモデル化の手法で, こういった問題すべてを解けるわけではないが, 設計の際の選択の幅を狭めていくことに用いることはできそうだ。

現在日本語入力方式については実験による研究がかなりなされるようになってきた。これからはワープロだけでなく対話型システム全般にわたる研究も必要になってくるであろう。製品開発という制約のもとで, より予算と時間を使う研究は難しいかもしれないが, 長い目で見ればモデル化は使いやすいユーザ・インタフェースのための最も有望な手法だと思われる。

参 考 文 献

- 1) Card, S.K., Moran, T.P. and Newell, A.: *The Psychology of Human-Computer Interaction*, P.469, Lawrence Erlbaum Associates, New Jersey (1983).
- 2) Card, S.K., English, A.K. and Burr, B.J.: Evaluation of Mouse, Rate-Controlled Isometric Joystick, Step Keys and Text Keys for Text Selection on a CRT, *Ergonomics*, Vol.21, No. 8, pp.601-613 (1978).
- 3) Card, S.K., Moran, T.P. and Newell, A.: *The Keystroke-Level Model for User Performance Time with Interactive Systems*, *Comm. ACM*, Vol.23, No.7, pp.369-410 (1980).
- 4) Card, S.K., Moran, T.P. and Newell, A.: *Computer Text-Editing: An Information Processing Analysis of a Routine Cognitive Skill*, *Cognitive Psychology*, Vol.12, pp.32-74 (1980).
- 5) Roberts, T.L. and Moran, T.P.: *The Evaluation of Text Editors: Methodology and Empirical Results*, *Comm. ACM*, Vol.26, No. 4, pp.265-283 (1983).
- 6) Allen, R.B. and Scerbo, M.W.: *Details of Command-Language Keystrokes*, *ACM Trans. Office Inf. Syst.*, Vol.1, No.2, pp.159-178 (1983).
- 7) 平賀 譲: テキストエディタの人間工学, *情報処理*, Vol.24, No.6, pp.722-729 (1983).
- 8) Smith, D.C., Harslem, E., Irby, C., Kimbel, R. and Verplank, B.: *Designing the Star User Interface*, *Byte*, Vol.7, No.4, pp.242-282 (1982).
- 9) Seybold, J. (井田昌之訳): *Star-Xerox 社のプロフェッショナル・ワークステーション(上)(下)*, *bit*, Vol.15, pp.628-645, pp.996-1012 (1983).
- 10) Bewley, W.L., Roberts, T.L., Schroit, D. and Verplank, W.L.: *Human Factors Testing in the Design of Xerox's 8010 Star Office Workstations*, *Proceedings of CHI '83 Human Factors in Computing Systems*, pp.72-77, ACM, New York (1983).
- 11) Reisner, P.: *Formal Grammar and Human Factors Design of an Interactive Graphics System*, *IEEE Trans. Softw. Eng.*, Vol.SE-7, No.2, pp.229-240 (1981).
- 12) Jacob, R.J.K.: *Using Formal Specifications in the Design of a Human-Computer Interface*, *Comm. ACM*, Vol.26, No.4, pp.259-264 (1983).
- 13) Feldman, G.: *Functional Specifications of a Text Editor*, 1982 ACM Symp. LISP and Functional Programming, pp.37-46, ACM, New York (1982).
- 14) Bott, R.A.: *A Study of Complex Learning: Theory and Methodologies*, Ph. D. Dissertation, Univ. of California, San Diego (1979).

(昭和59年7月16日受付)