

パソコン用鍵盤の打鍵所要時間と 思考時間模型

柏川正充・木村 泉
(東京工業大学理学部)

梗概

別に報告したように、日本語ワープロソフト「松」における利用者の思考時間分布を統計的に解析してみたところ、三つの成分が見出された。そのうちの二つについては、それぞれ一通りの、まずまず筋の通った説明をつけることができたが、第3の成分については少なくとも二つの解釈が可能であった。その一方は鍵盤の物理特性に原因を求めるもの、もう一方は認知心理学的機構を考えるものであった。本文では、そのいずれが正しいかを見るために二つの実験について述べる。それによれば二つの説明のうち、物理的機構に原因を求める方のものは成り立たない、ということがわかる。本文の実験の結果はより一般的に、PC-9800シリーズの鍵盤の長所、短所を理解するためにも役立つと期待される。

The Physical Characteristics of a Keyboard and the User Reaction Time Model for a Japanese Word Processor

Masaatsu KASUKAWA and Izumi KIMURA
Tokyo Institute of Technology, Department of Information Science
2-12-1 Ookayama, Meguro-ku, Tokyo 152 Japan

Abstract

In a companion paper, a statistical distribution of a user's think time on the Japanese word processing software Matsu was analyzed. Three component distributions were identified. Plausible, single interpretations could be given to the two of the components, but not to the third. It had at least two possible interpretations, of which one considered a physical mechanism, whereas another, cognitive. This paper describes two experiments that excluded the physical one of the proposed mechanisms. The result could be useful more generally in understanding the strengths and weaknesses of the keyboard design of a best-selling personal computer.

0. 問題

ワープロソフト「松」からかな漢字変換の変換候補が提示されたあと、利用者が次の行動を起こすまでに経過する時間の統計的分布を解析してみたところ、三つの山があらわれたことは[1]で述べたとおりである。その三つの山とは、

- 1 種々の時定数をもつ指数分布とある正規分布との結合と見られる、分布曲線の右の方に長く尾を引く山₁
- 2 分布曲線の左端にあらわれる、正規分布をしていると思われる山₂
- 3 山₁と山₂の間にはさまる、多分正規分布をしていると思われる小さな山₃

の三つであった。

これらの山のうち、山₁と山₂は大きな山であり、形状もはっきりしていて、ある程度自信をもって解釈をつけることができたが、山₃はほかの山の間に埋もれた小さな山であるため、成因を見きわめることが容易でなかった。山₃らしきものは、複数の被験者、および複数のワープロソフトについて観察してみたとき、ほとんど常に見出され（[1]、図8、9）、従ってその存在自体は多分間違いないにもかかわらず、である。

[1]では一応それを認知心理学的要因（多分確認操作）によるものであると解釈した。事実その解釈は現在のところ最も「座りのよい」ものではあるが、本当にその解釈でよいかどうかには若干の疑問があった。実際、山₃の成因については、[1]に掲げたもののほかに鍵盤の物理的配置という要因も考えられた。すなわち、キーのうちには速くて、または位置がわるくて打つのに時間の掛かるものがあり、それらのキーを打つときには余分の時間が掛かり、そのために山₃が、山₂の右にずれた影としてあらわれた、と解釈することも一応可能であった。

本文ではこの山₃の成因という問題について、実験的に検討する。すなわちまず第1節では、[1]で解析した統計的分布の再検討を行う。その結果、かな漢字変換後に利用者が打鍵するキーが何であるかに応じて、分布に偏りがあり、山₃のあたりでは復帰キー（確定キー）が打たれることが比較的多い、ということがわかる。

そこで問題は、なぜ山₃のあたりに復帰キーの打鍵が多いかである。一つの可能性は、復帰キーが（PC-9800シリーズの）鍵盤上の遠い場所にあるため、打鍵に時間が掛かり、そのために山₁のところにくるはずのものが右にずれてしまった、というものである。その真偽を確かめるため、画面に鍵盤の絵を示し、そのどれかのキーに当たる場所を光らせ、対応する鍵盤を（[1]の実験と共通の）被験者に打たせてその反応時間を見る、という実験を行った（もうら叩き、第2節）。反応時間は当然手の置き場に依存するはずであり、それは[1]の統計的分布を採取したときの状

況に近いことが望ましいので、画面を光らせるのはまず被験者に「a . <XFER>」と打たせてから、ということにした。これは「松」で日本語文を打っているときによく文末にあらわれる打鍵系列であり、かつ右手と左手をともに使っている、手の置き場をしかるべき位置に持ってゆくために役立つであろうと考えた。さらに実験をいくつかのセッションに分け、セッションとセッションの間ではワープロソフト「松」による実作業をおこなわせることにした。この実験の結果、復帰キーはPC-9800シリーズの鍵盤上では特に速く打てるキーであるということが判明した。従ってこの実験から上記の解釈に裏づけを与えることはできないことがわかった。

ところで、第2節の実験では打鍵するキーがどれであるかの指示と打鍵開始の合図とが同時に与えられるようになっている。このため、測定された打鍵時間の中には、打鍵するキーのありかを手ざわりで確かめる時間（指探りの時間）といったものが入り込んでいることになる。しかしよく考えてみると、実際のワープロ上での、変換直後の打鍵では、次にどのキーを打つべきかは変換結果が出る以前から大体わかっている。すでに頭の中で考えた文章があり、ただし場合によってはその直前の変換がうまく行かなかったためにもう一度変換キーを叩かなければならなくなることもある、という方が実状に近い。そこで第3節では第2節の実験の次のようなバリエーション（「待ち伏せもぐら」）を試みた。

画面に鍵盤の絵を出し、そのどこかを光らせ、対応するキーを打鍵させる、というところは第2節と同様である。「a . <XFER>」を打たせること、および実験をセッションわけして、間に「松」による実作業をはさむことも同様である。ただし鍵盤の絵は「a . <XFER>」の打鍵を待たずに光らせてしまう。これが打つべきキーの指定であるが、それは打鍵開始の合図を兼ねていない。続いて実際に「a . <XFER>」が打鍵されたあと、予測不能のある時間経って、すでに光っているキーまたは<XFER>キーが別の色で光る。これが打鍵開始の合図となる。

このバリエーションを実施した結果得られた打鍵時間には、第2節の場合ほど大きな差はなかったが、やはり復帰キーは速く打てるキーに属していた。すなわち統計的分布の山₃の成因を、鍵盤の物理特性に求めるのは無理であるということがわかった。

第4節では以上の結果をもとに、なおビデオ観察による所見をまじえて、総合討論を行う。本文の結果は、ワープロソフトの利用者モデルという問題を離れて、JIS鍵盤の特性を知る、という意味でも興味があろう。

1. 打鍵文字種ごとの分布

図1は、[1]で解析した統計的分布を打鍵される字種に

関して分析してみたものである。すなわち、ヒストグラムの各区分ごとに、その区分で打鍵されたキーを頻度順に示してある。打たれるキーの名称は、出現件数2回以下のものは省略した。これから、問題の山3のあたりでは復帰キーが多く打鍵されることがわかる。

図2は同じ分布から、それぞれ英数字、復帰キー、およびXFER(変換)キーの打鍵に相当する部分を抽出して示す。この図からも復帰キーに関しては山3が大きいということがわかる。(もっとも山3は、英字に関してもしっかり存在している。この点については改めて検討する。)

いずれにせよ図1、2から、復帰キーの打鍵について何か特別の事情がないか考えてみるだけの価値があることがわかる。その事情というのは、物理的なもの(たとえば復帰キーは遠いから打つのに時間が掛かるのではないかと、というような)であるかも知れないし、認知心理学的なもの(復帰キーは確定キーであり、「松」では一旦確定したものは修正が面倒なのでそこでためらいが起こるのではないかと、というような)も考えられる。もしそれが物理的なものであれば、本当にそうであるかどうかは比較的簡単な実験で確認できるはずである。次の2節では、一対のそのような実験について報告する。

2. 実験1 — もぐら叩き

2.1 実験目的

第0節で述べたように、[1]における山3は、他の山に埋もれているため、解釈が難しい。山の成分は実は山1、山2の2つであって、そこに復帰キー(確定キー)の分布が多いのは、復帰キーが物理的に遠くに配置されているため、余分に時間が掛かっているためではないかという仮説を実験によって検証するのが目的である。

また、これはPC9800シリーズのキーボードでワープロを使っている場合にいわば「感触」として味わうことだが、打っているとき、右手小指の守備範囲で、復帰キーに近い位置にあるキーは打つのに少しばかり引掛かって時間が掛かるように感じるがある。また、ファンクションキーやテンキーなどは、ホーム位置にあるキーに比べて、時間が掛かって打ちにくく感じる。

こうした「感触」が果たして正しいのかということを実験的に調べる狙いもある。

2.2 実験方法

被験者

被験者は、資料[1]と同様共同執筆者の一人(I, K)が行った。これは、[1]で行なっている解析の原データがI, Kによるもののためである。

実験手順

実験は各10分間程度の数セッションに分けて行ない、セッションとセッションの間には、実作業として「松」に

よる計算機関係のエッセイの翻訳を行なった。なお、この翻訳作業についても打鍵データ及びビデオ記録を収集している。

各セッションの手順を以下に示す。

- 1 ビデオの録画を開始する。
- 2 MS-DOSを立ち上げ、実験用プログラム(ファイル名MAIN)を呼び出す。
- 3 画面にキーボードの図が表示される。
- 4 画面下側に、「Please push 'a' '.' XFER」とプロンプトが表示される。
- 5 被験者は、この順にキーを打つ。
- 6 ビツという音がして、ディスクのアクセスが起こり、ある不定の時間だけ待たされる。
- 7 画面上に目標となるキーの場所が緑色に反転し、光って表示される。
- 8 被験者は表示されたキーを打つ。この時、画面下側のバッファには打たれたキーが表示され、誤ったものが入力された場合には、BSキーを用いて訂正したあと、再打鍵しなければならないようになっている。
- 9 定めた時間が来るまで、3に戻って繰り返す
- 10 時間が来たら、STOPキーを押して、セッションの結果をディスクに書き出し、ビデオ録画を停止して終了する。

この間の打鍵は、[2]で述べられている打鍵データの形式に従って記録をとり、これに目標キーの種類と目標の表示開始がデータとして付け加えられたものをファイルに記録した。

目標となるキーの出現は、ファンクションキー何%といったように、キーの位置的な種類ごとに出現確率を定めた表からランダムに選ばれる。各種類の出現確率は予め何回か試行を行ない、実作業における変換キーの後の打鍵出現頻度と比べて、違和感が少なくなるように調整し設定した。

また、ディスクのアクセスは、「松」がフロッピーディスク内の辞書をアクセスする様子をシミュレートするために加えられている。

2.3 結果と討論

実験によって得られたデータは1338件、打鍵平均時間は0.899秒であった。このヒストグラムを図3に示す。打つべきものとは異なったものを打ち、BSキーで訂正を行なっている試行や、目標キー打鍵後に誤ってさらに別な打鍵を行なっている試行は除いた。また、この実験では、コントロールやシフトを伴う打鍵も含まれているが、これらも今回の解析の対象からは除いてある。

ヒストグラムの形は実作業の打鍵分布のものとは大きく異なっており、打鍵時間の平均も実打鍵よりかなり大きい。

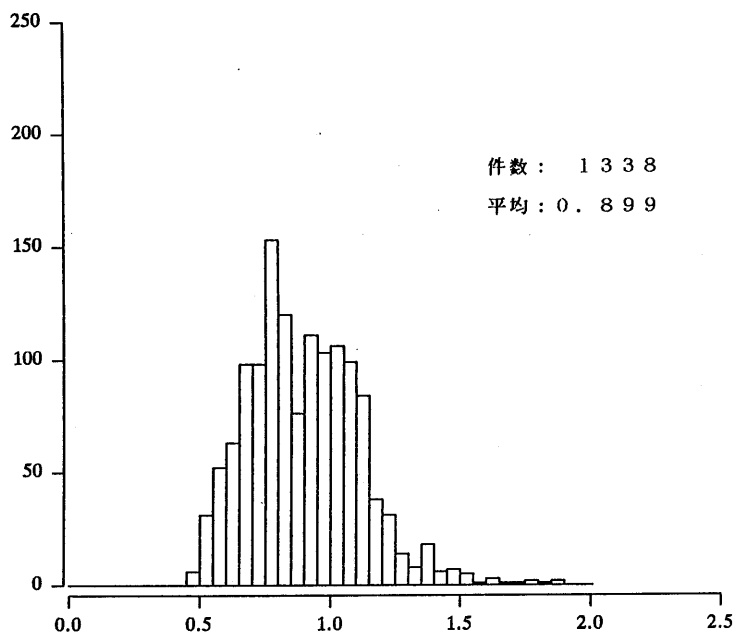


図 3 実験1における総打鍵ヒストグラム

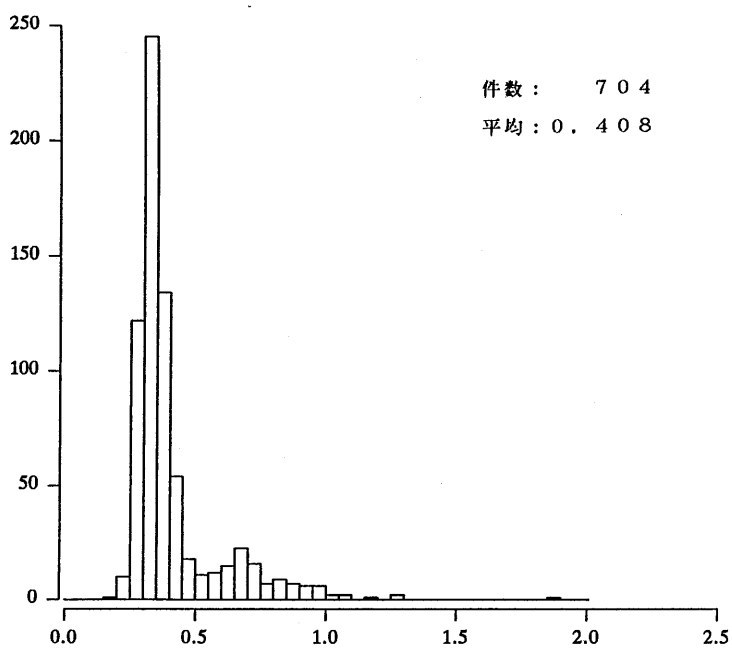


図 5 実験2における総打鍵ヒストグラム

STOP		COPY		1.15 1.16 1.32 1.27 1.16 1.03 1.05 1.08 1.14 1.04 f. 1 f. 2 f. 3 f. 4 f. 5 f. 6 f. 7 f. 8 f. 9 f. 10												
ESC		1	.83	.88	1.17	1.10	1.04	1.19	1.00	1.19	1.09	1.02	1.06	1.09	1.05	BS
.77		.70	.74	.78	.89	.89	.81	.84	.86	.87	.98	1.07	1.17	.63		
TAB		Q	W	E	R	T	Y	U	I	O	P	@	[			
CTRL		CAPS	A	S	D	F	G	H	J	K	L	:	]	1.01		CR
SHIFT		Z	X	C	V	B	N	M	,	.	/	SHIFT				
			.71	.75	.81	.91	.82	.79	.88	.89	.88	1.04	1.17			
			.55										.92			
			SPACE												XFER	
		GRPH	NFER													

1.09	1.11	1.00	.98	1.20	1.26	1.23
RLUP	RLDN	INS	DEL	HOME	HELP	/
				1.18	1.20	1.20
				7	8	9
				1.18		1.29
		.96	UP	4	5	6
		1.10	1.13	1.05	1.14	1.29
		LEFT	RIGHT	1	2	3
						4
		1.30		0		1.09
		DOWN				CR

[illegible]

図 4・2 実験 1 における鍵別分散及び件数

図4. 1及び図4. 2は個々のキーについてその平均と標準偏差を求め、プロットしたものである。なお、標準偏差は不偏分散 ($\sum (X_i - X_{mean})^2 / (N - 1)$) の平方根として算出した。また、図中の空白箇所は、解析にかかる打鍵がなかったことを示している。

この結果によれば、復帰キーはスペースバーに次いで早く打鍵できるキーであり、他のキーと比較した場合、この2つは大幅に速いということになる。これはFittsの法則 ([3] 参照) から予測されるとおり、キーの形状が大きく、指探りの収束誤差が大きくてもよいため、早く打つことができるためと考えられる。

その他、左手小指で押されるキーが早く打たれている、最上段のキーは時間が掛かっている、復帰キーの近傍の右手小指で押されるキー (^、@、[、_ など) は、他のキーよりも時間が掛かっている、などの事象が観察される。

また、遠い位置にあるキーファンクションキーやテンキーなどは余分に時間が掛かっている。

3. 実験2 — 待ち伏せもぐら

3.1 実験目的

実作業でワープロを使用する場合には、次に打つべき文章の最初は変換結果が出る前から頭の中に入っており、変換の結果が正しいものであるか、誤ったものであるかによって、再変換を行なうか、次を打ち始めるかを選択していると考えられる。このモデルに従えば、指探りはディスク内の辞書のアクセスとオーバーラップして行なわれるため、実験1より高速に打鍵が行なわれるだろうと予測される。

この状況下では打鍵の時間分布がどのように変わってくるか、実験を行なった。

さらにモデルを詳細化すれば、別のレベルの思考が介入して文章全体の修正を前に戻って開始するといった選択が行なわれることも考えられるが、それらは無視するものとする。

3.2 実験方法

被験者

被験者は実験1と同じ理由でI. Kが行った。

実験手順

実験1と同様、各10分程度の数セッションに分けて行ない、各セッションの間に「松」による翻訳の実作業を行なった。この翻訳作業も打鍵データ及びビデオ記録を収集している。

各セッションの手順を以下に示す。

- 1 ビデオの録画を開始する。
- 2 MS-DOSを立ち上げ、実験プログラム (ファイル名 MAIN) を呼び出す。
- 3 画面上にキーボードの図が表示される。

- 4 画面下側に「Please push 'a' .」 XFER」と表示される。この時、画面上には既に次の目標キーが緑色の反転によって、光って表示されている。
- 5 被験者はa.<XFER>と打つ。
- 6 一度表示が消え、ディスクのアクセスが起こって、ある不定時間だけ待つ。
- 7 ビツという音と共に、目標キーが黄色の反転で光って表示される。この場合一定の確率で、先に画面に出ていたキーではなく、<XFER>キーを打つように促される。
- 8 被験者は表示されたキーを打つ。この場合、画面下側のバッファに打たれたキーが表示され、誤ったものが入力された場合には、BSキーを用いて訂正したあと、再打鍵しなければならない。
- 9 定めた時間が来るまで4に戻って繰り返す。
- 10 時間が来たら、STOPキーを押して、セッションの結果をディスクに書き出し、ビデオ録画を停止して終了する。

音を鳴らすタイミングが実験1とは異なっている。これは画面が光るだけでは、行動を起こすキューとしては十分ではなく、この刺激を見落としてしまう場合があるため、このようにしてある。

実作業で「松」を使っていると、フロッピーディスクの辞書をアクセスする場合には、カチャカチャというディスクドライブのアクセス音が起こり、この音が止まったときに画面上に変換結果が出てくる。従って、実際の「松」の使用時には、音が止まることがキューとして働いていると考えられる。実験2で画面に注目するキューとして、音を出すことを用いても、さほど違和感はなかった。

提示された目標キーが<XFER>キーに変更される割合は30%に設定した。これは変更の頻度が小さすぎる場合には、キューが出たあと目標を再確認しない場合があるため、かなり大きめの値を与えている。しかし、このため有効なデータ件数が実験1と比較してかなり減少した。

データの表現形式などは実験1と同様である。

目標キーの出現確率は、実験状況が変化した場合、更に試行を行って調整をやり直した。

3.3 結果と討論

実験によって得られたデータは704件、打鍵平均時間は0.408秒であった。このヒストグラムを図5に示す。

実験1と同様に、エラーを起こした打鍵、コントロール文字、シフトして打たれた文字などは除かれている。

また、目標キーが<XFER>キーに変更された打鍵は含んでおらず、<XFER>キーの打鍵は最初から<XFER>と表示されていたものだけに絞っている。

[illegible]

このヒストグラムを観察すると、実作業で見られるヒストグラムに似た形をしており、[1]における実作業の山2を強調した形に近いものになっている。

これを各キーごとに平均、標準偏差を出したものが図6.1及び図6.2である。実験1と同様に、標準偏差は不偏分散の平方根として算出してある。

実験2より得られたデータは、件数が少ないため確定的なことはいえないが、傾向としては、実験1と同様のことが伺える。

実験1では、スペースバー及び復帰キーは他のキーと比較して、飛び抜けた速さであったが、実験2の結果では、速い部類ではあるもののそれほど極端な早さではない。復帰キーのそばの右手小指の守備範囲のキーは余分に時間が掛かる、最上段のキーは、他の段のキーに比べて時間が掛かる、ファンクションキーやテンキーは打つのが遅いといった現象は実験1における結果と同様である。

4. 総合討論

2節、3節において個々の実験の場合について所見を述べたが、この節では、思考時間模型と鍵盤の構造的打鍵速度の各々について総合的に議論を行なう。

4.1 思考時間模型について

実験1、実験2とも、復帰キーの打鍵が通常の打鍵よりも遅いのではないかとという仮説に対して否定的な結果を与えた。

ところで、資料[1]における山1と山2の性質の差に対する仮説から、実験1と実験2は、実際のワープロ使用時の打鍵における以下の状況、すなわち

- 1 思考の流れがスムーズに流れて、常に次の書き出しを追っている場合には、実験2のような打鍵を行なっている。
- 2 一方、その流れが中断されて、前の節に戻っての修正や書き足しなどを行なう場合には、思考のあと実験1のような指探りを伴った打鍵を行なっている。を反映しているのではないかと考えられる。

これより、資料[1]の山3は山1の復帰キーの成分が0.2秒ほど速くあらわれているという現象ではないかという疑問が生まれる。

しかし、図2で見られるように山3の位置にある打鍵要素は必ずしも復帰キーばかりではない。

また、当てはめによって残った山の形は正規分布のものに近い形をしており、指数分布のように尾を引いてはいない。さらに、ビデオ記録における観察では、復帰キーの打鍵の前には、極く短い思考によるためらいのようなものが観察された。

これらにより、[1]における山3の存在理由は、なに

かしら認知的要素の含まれたものであり、復帰キーによる山1の復帰成分が移動して現われているだけとは考えにくい。しかし、実験1におけるキーの種類ごとの打鍵速度の差が山1の形に何らかの影響を与えていることは十分考えられる。

4.2 鍵盤の構造的打鍵速度について

キーの種類ごとの打鍵速度を比較すると、実験1、実験2に共通して、ファンクションキーはおよそ0.2秒、テンキーはおよそ0.4秒、ホーム位置にあるキーより余分に時間が掛かっている。また、同じホーム位置にあるキーでも復帰キー近傍の小指で押される $\wedge$ 、[、:、_といったキーは、位置的に恵まれたキーに比べて0.15~0.2秒程度余分に時間が掛かっている。これは2節で述べた引掛かるといふ「感應」を裏付けているようである。

実験1と実験2の間で大きな違いがあらわれているのは、復帰キーとスペースバーである。

復帰キー及びスペースバーは、実験2では他のキーとそれほど大きな差は出ていないが、実験1では他を圧倒して速い。4.1で述べたように、実験1が思考後の指探りを伴う打鍵を反映しているならば、一括変換を行なう場合のような、思考過程を伴った後の指示キーとして、この二つを用いる場合は、他のキーを用いる場合よりも能率が向上すると考えられる。

4.3 今後の課題

実験2は、データの絶対量が少ないという問題がある。これはセッションの1回のサイクルが実験1よりもやや時間が掛かることと、目標キーが変更されて<XFER>キーを打つ場合の割合がかなり大きいためである。今後さらに実験を続けてより多くのデータを収集する必要性を感じている。

また、現在はコントロールやシフトされた文字については解析を行っていない。これはデータ件数が少ないこともあるが、2つの打鍵を要求している場合には、認知な意味において、作業記憶領域に置かれる負荷の大きさが異なるため、同列には扱えないと考えられるためである。今後はこれについても解析を行なっていきたい。

最終的には、得られた結果を元に、実作業の打鍵についてキーの物理位置による速度の差を考慮した[1]と同様の当てはめを行ないたいと考えている。

謝辞

この研究に関して昭和61年度科学研究費補助金一般研究(C)第61580020号による補助を受けたので付記する。

参考文献

- [1] 木村、粕川、谷越：ワープロ利用者の思考時間に関する統計的模型、情報処理学会研究報告JDP8-3(1983.9)
- [2] 粕川、木村：パーソナルコンピューター用打鍵データ収集プログラムとその応用、情報処理学会第30回全国大会、3G-8(1985.4),pp1645-1646
- [3] S.K.Card, T.P.Moran & A.Newell: The Psychology of Human-Computer Interaction, Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, New Jersey (1983)