

## パソコン用打鍵データ収集システム†

森川 治†† 木村 泉††† 粕川 正 充†††

NEC PC-9800 シリーズのパーソナルコンピュータで一般的に使用できる簡便なソフトウェアモニタ（打鍵データ収集システム）について述べる。このシステムでは、キーボードのキーが押されたとき、離されたとき、ディスクが作動したとき、ディスプレイの画面が書き換わったときなどに、事象の種類と生起時刻が記録される。研究の道具として計算機システムのヒューマンインタフェースにおける人間の側の機構を探るために使う、というのが本来の用法であるが、自分がよく犯す操作誤りを見つけ出して作業状況の改善に役立てるとか、ソフトウェアが虫のためにハングアップしたとき、その原因を突き止めるとかいった使いかたもある。このシステムは、特別なハードウェアの当てを必要とせず、また 2, 3 の例外を別とすれば PC-9800 シリーズにおいて一般的に成り立つ事実しか利用していないので、内容不明の市販ソフトウェアであっても測定対象にすることができる。3種の版があるが、そのうちの一つである、MS-DOS 上で動くソフトウェアを対象とし、事象記録をバンク切り換え方式の RAM ボードに蓄積する版では、記録セッションの長さは実用上無制限である。別に、得られた事象記録をファイル化する道具、そのファイルの内容を表示する道具などを用意している。

### 1. はじめに

計算機システムのヒューマンインタフェースは、システムを使う人間の頭の中の仕組みを、(理論的にとまではいわないまでも、少なくとも直感的に)理解することなしには、満足に作り上げることのできないものである。だが、そのような理解に達するには、どうしたらよいか。一つの自明な早道は、システム利用者の挙動を観察することである。そのためには、よい計測手段が必要である。それは大掛かりでなく、日常的に気軽に使えるものであることが望ましい。

本文では、このように考えて開発した一つの打鍵データ収集システムについて述べる。その実体はNEC PC-9800 シリーズ (以下 PC-98 と記す) で動作する一種のソフトウェアモニタであって、計測対象ソフトウェアに寄生して、いつどのキーが押されたか、いつディスク装置が作動したかなどを自動的に記録する。対象ソフトウェアには、(いわゆる 386 機の場合 MS-DOS のもとで動作するものに限られる、という点を除けば)ほとんど制限がない。PC-98 で動く常識的なソフトウェアならば、自作ソフトウェアはもとより、内部構造の不明な市販ソフトウェアであっても、計測

の対象とすることができる。記録が採取できないのは、よほど「変なこと」をしているソフトウェアに限られる。「コピープロテクト」がかけてある、というだけなら何ら問題はない。

特別なハードウェアは不要である。利用環境が実験室内に限られるようなことはない。たとえば休日に自宅で書く原稿の打鍵状況も、ほとんど何の手間もかけず、容易に記録できる。時間の測定刻みは、演算速度および記憶容量にかかる負担と、時刻測定の精度とのバランスを考えて、10 msec を標準としている。これはビデオディスプレイの画面更新周期と同程度であり、実用上困ることは(ないことはないが)稀である。手間と暇と費用をかけ、専用のハードウェアを利用するつもりならば、もっとずっとくわしい計測もできようが、日常的に特に測定測定と思わないで使うには、むしろこの程度がよいように思われる。

なお付随して、得られた打鍵データの解析等のために、小道具類(補助プログラム群)を用意している。本文では、本システムの詳細、および補助プログラム群の概要を述べて、読者の参考に供する。

### 2. 利用者から見ると

まず図 1 に、このシステムの典型的な利用例を示そう。図において、筋書きは次のとおりである。

- ①で、MS-DOS が起動される。
- ②で、システム設定用ファイル config.sys の指定によって、RAM ディスクドライバ、およびかな漢字変換用フロントエンドプロセッサ (「松茸

† Keystroke Data Collection System for a Personal Computer by OSAMU MORIKAWA (Industrial Products Research Institute, Human Factors Research Department, Psycho-Informatics Division), IZUMI KIMURA and MASAATSU KASUKAWA (Department of Information Science, Tokyo Institute of Technology).

†† 製品科学研究所基礎人間工学部心理情報工学課

††† 東京工業大学理学部情報科学科

```

NEC PC-9800 Series Personal Computer .....①
:
RAMディスクドライバ IOS-10 (Ver1.30)を組み込みます。.....②
:
-----
日本語入力フロントプロセッサ「松茸」 Ver 2.04 (C) 1987.88 幹管理工学研究所
-----
Command バージョン 3.30A .....③

A>bmks
BMKS 1989 10/25 v-4.91 システムを常駐させます
:
A>これも今は昔、丹波の国篠村といふ所に、年ごろ平草やるかたもなく多かりけり。改
コマンドまたはファイル名が違います。④

A>kssave改 .....⑤
Key_stroke data save in KS.KSD (V-2.3)
(BMKS 版 v-4.9) length = 1EF
Comment (最大 400 文字) <
改
A>ksren改 .....⑥
rename KS.KSD KS900117.03

A>

```

図 1 画面上での対話例  
Fig. 1 A sample session.

V2—管理工学研究所) が組み込まれる。

- ③において、コマンドインタプリタが起動される。その際初期設定用コマンドファイル autoexec.bat の指定に従って本システムが起動される。
- ④で利用者が、キーボードからコマンドとして文字列「これも今は昔、丹波の国篠村といふ所に、……」(宇治拾遺物語より)を打ち込む。その結果 MS-DOS から「そんなコマンドはないよ」という意味のエラーメッセージが出力される。
- ⑤で利用者は、プログラム kssave (後述) を呼び出して、得られた打鍵記録をファイル化する。
- ⑥で利用者は、そのファイル (ks.ksd と名づけられている) に、プログラム ksren (後述) を用いて日付と一環番号をもとに組み立てられた固有のファイル名を与える。

図は、この間ディスプレイの画面に残る対話記録を、要点のみ示す。利用者が自分で打つのは、下線の部分(および図)だけである。図は改行キーの打鍵を示す。⑤において、「length=1EF」とあるのは、収集された事象が全部で16進1EF個(10進495個)であることを示す。また「Comment(最大400文字)<」とあるのは、心覚えのための文を打ち込むように督促しているものであるが、図では単に改行キーを叩いて先に進んでいる(心覚えの文として空文字列を打ち込んだことに当たっている)。

図2(a)は、得られたファイル ks.ksd を後述のプログラム kstype に与えて、打鍵記録の一部をタイミ

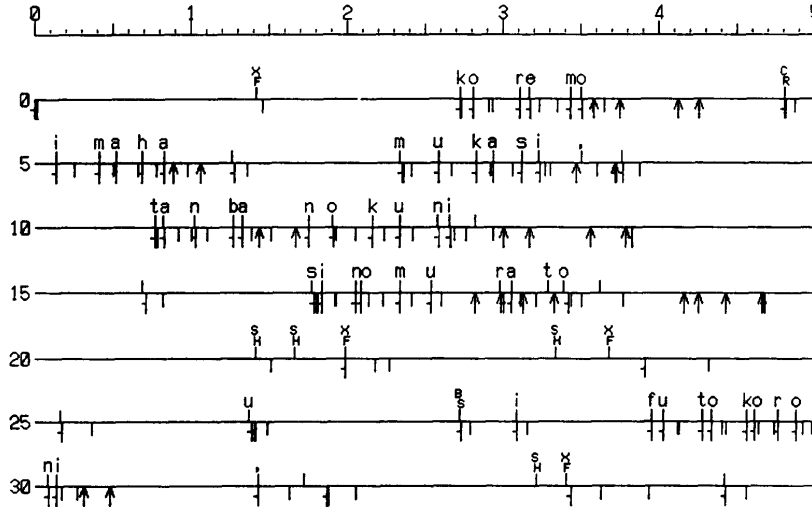
ング図の形で書き出したものである。図は、画面のハードコピーであって、「これも今は昔」以下「いふ所に、」までの打鍵を示す。図の1行は5秒、横線の上および下の短い棒はそれぞれキーが押された時点(キー・メイク)および離された時点(キー・ブレイク)を、また横線下側の↓印および↑印は、それぞれ画面更新およびディスク作動(この場合、ディスクはフロッピー)の時点を示している。キー名称の付記されていない上棒はスペースキー(変換キーとして使用)の打鍵を、XF, CR, SH, BS と付記されたのはそれぞれ XFER キー、改行キー、シフトキー、後退キーの打鍵を示す。図をくわしく見れば、「丹波の国」や「篠村と」や「いふ所に、」を作るのに手こずって、再変換や着目文節の切り換えをしている様子を読み取ることができる。「丹波の国」は実際には「丹羽の国」→「丹波の国」のようにして、「篠村と」は「しのむらと」→「し野村と」→「しのむらと」→「しの村と」→「篠村と」、「いふ所に、」は「委付と頃に、」→「いふところに、」→「いふ所に、」のようにしてできたものであるが、残念ながらこのシステムの現在の版では、画面に何が出たかまでは記録されない。

図2(b)は、ファイル ks.ksd をプログラム ksotype を用いてリスト形式で打ち出したもの(部分)、(c)はプログラム ks1type によってその概要を打ち出したもの(全体)である。図において、数字は10msec単位である。図2(b)の冒頭は、「通算147単位時間(1.47秒)目にXFERキー(「変」であらわす)が打たれ、次に通算278単位時間目にKのキーが打たれた。Kのキーの打鍵はXFERキーの打鍵の131単位時間後であった。」と読める。また図2(c)の冒頭は、「記録開始から147単位時間後にXFERキーが押され、さらにその131単位時間後、K,O,R,E,M,Oが打たれ、そのOの打鍵後131単位時間経って改行が打たれた。その時点での通算単位時間数は486であった。」と読める。図2(c)においては、50単位時間以上の空き時間のみ時間間隔が明示されている。「シ」はシフトキーが押されたことを、「シ/」は離されたことを示す。図2(a)~(c)のいずれにおいても、表示方法および表示する事象の種類は、こまかく制御できる。さらにファイル ks.ksd に記録する事象の種類

も、取捨選択できる。

仕事が一段落するごとに kssave および ksren を呼び出す、という習慣さえつければ、打鍵記録はほとんどたまる。この論文の作成経過も、大部分記録されて

いる。学術的に役立つのが本来の目的であるが、自分がよく犯すミスを見つけ出して作業状況の改善に役立つとか、ソフトウェアの虫のために計算機がハングアップしたとき、その原因を突き止める、とかいっ



(a)

(1)	変	147	147
(2)	k	278	131
(3)	o	286	8
(4)	r	316	30
(5)	e	322	6
(6)	m	349	27
(7)	o	355	6
(8)	J	486	131
(9)	i	519	33
(10)	m	546	27
(11)	a	557	11
(12)	h	574	17
(13)	a	588	14
(14)	SP	631	43
(15)	m	739	108
(16)	u	764	25
(17)	k	788	24
(18)	a	799	11
(19)	s	817	18
(20)	i	828	11
(21)	,	855	27
(22)	SP	881	26

(b)

0: 147 変,131 koremo,131 J  
 486: 33 imaha ,108 mukasi ,201 tanbanokuni  
 1287: 287 ,108 sinomurato  
 1867: 279 シ/シ変シ/,107 シ変,64 シ/,84 ,121 u,135 BSi,86 futokorononi,129 , ,149  
 シ変,54 シ/,96 → ,142 to,56 sigoro ,118 ,53 hiratake ,225 ,109 →,60 ,75 .  
 72 ,82 yarukataonaku,71 ohokarike,57 ri.,67 J  
 5405: 79 J  
 5484: 172 変,79 kssave,142 J  
 total 132 key-strokes.

(c)

図 2 収集された打鍵記録の表示例  
 (a) タイムチャート形式 (kstype, 部分),  
 (b) リスト形式 (ks0type, 部分),  
 (c) 要約 (ks1type, 全体).

Fig. 2 Display and printout samples for collected keystroke data.  
 (a) time chart by kstype; (b) line-by-line (partial) listing by ks0type; and (c) summary listing (in full) by ks1type.

た使いかたもできる(本システムの、外づけの RAM ボードを使っている版—後述—では、パソコンをリセットしてもそこにデータが残っており、あとから収集できる)。

図1で使われているのは、本システムの MS-DOS 向きの版である。MS-DOS に乗っていないソフトウェアについては、これとは別の、MS-DOS を前提としない(多少操作のやっかいな)版を使用する必要がある。くわしくは後述する。

なお本システムでは、打鍵事象ばかりではなく、ディスクの作動、画面の更新なども記録される。したがって本システムを「打鍵データ収集システム」と呼ぶのは、少しばかり実情に沿わない点もある。しかし PC-98 のユーザインタフェースでは、何といてもキーボードが主要な地位を占めており、また事象記録システムなどといい換えてみても、むしろ実体がわかりにくくなるだけのように思われるので、本文では引き続きこの呼称を使用することにする。

### 3. 動作原理

#### 3.1 基本原理

本システムの動作原理は、基本的には、各種の割り込みをインターセプト(横取り)し、その時刻、割り込みの種類、およびその他の情報(キーボード上で打たれたキーの番号など)を、適当な記憶場所に記録してゆく、というものである。すなわち、主記憶の(物理空間内の)0番地以降に書き込まれている割り込みベクトルを書き換えて、被計測プログラムで使われている本来の割り込みルーチン(以下Aと記す)の代わりに、本システム固有の割り込みルーチン(Bと記す)を指させるようにする。したがって対象プログラム内で割り込みが起こると、処理の流れはAではなくBに入ってくる。Bでは、まずスタックを適宜調整し、通常のサブルーチン呼び出し命令を使ってAを呼び出す。Aは、自分は直接割り込みによって起動されたのだと「思い込んだ」まま処理を進め、やがてBに戻る。そのあとBでは、時刻、事象の種類等を記録し、スタックを復元して対象プログラムに戻る。

BがまずAを呼び出し、事象の記録をAから帰ってきたあとでするようになっているのは、ひとたびキーボード等の制御ハードウェアを入出力命令によって操作すると、ハードウェア内の制御ビット類が変わり、その結果Aが正常に動作しなくなる、という恐れがあるからである。PC-98に関する限り、キーコード(キー

ボード上で打鍵されたキーの種類をあらわすコード)などは、Aによる処理が終了したあと再度入出力命令を実行することによって取り出せるので、このようなことで満足な結果が得られる。

ただし、以上の基本方針だけでは間に合わない部分もある。たとえばマウス操作や画面の書き換え(更新)のタイミングを記録するには、これとは別の処理が必要である。このことについては後述する。なお時刻は、定期的に時計の割り込みを起こさせ、その回数を数えることによって計測している。

#### 3.2 記憶場所の確保

設計上の一つの岐路は、記録そのもの、および記録用プログラムをどこにしまうかである。(現時点では)三つの方法を使いわけている。

- (a) 主記憶の(RAM 領域などは除いた)一般用領域において、ある番地からあとは使われないとわかっているとき、その空き領域を使う。記録用プログラムは空き領域の先頭に置き、データの記録にはそのうしろを使う。
- (b) 対象ソフトウェアが MS-DOS に乗っていることを仮定する。記録用プログラムは起動時に、主記憶上に記録領域を確保してから常駐化するようにしておく。そのあと、対象ソフトウェアを起動して使用する。
- (c) 対象ソフトウェアが MS-DOS に乗っていることと、ハードウェアにバンク切り換え方式による RAM ボードが組み込まれていることを仮定する。記録には、RAM ボード上の空き領域を利用する。記録用プログラムは(b)におけると同様、対象ソフトウェアの起動に先立って起動し、常駐化しておく。

現在では主として(c)、ときに(b)を使用し、(a)は MS-DOS に乗っていないソフトウェアについて何とか記録を取りたい、という場合に限って利用しているが、最近では主記憶に空き領域を残している市販ソフトウェアがほとんどないので、利用できることはむしろ稀である。(a)によれば、たとえば松(著名なワープロソフト、旧版、管理工学研究所。MS-DOS に乗っていない)について、データが収集できる。

なお現在のところ(c)において利用できる RAM ディスクドライバは、IOS-10(アイ・オー・データ機器)および MX-1(メガソフト)の2種である。

#### 3.3 起動方法

(a)~(c)のいずれにおいても、まず3.1節で述べ

たとりの状況を作り出すことが必要である。すなわち、記録用プログラムを主記憶にロードし、割り込みベクトルを調整する。また記録用プログラムから本来の割り込み先への道をつける。ベクトル関係の設定は、(b)および(c)では、記録用プログラムを MS-DOS の常駐コマンドとして起動した直後に、その先頭でおこなう。なおその際、ブザーを鳴らして記録開始の合図としている。

(a)の場合は、MS-DOS に乗っていないプログラムを想定しているので、やや複雑な処理が必要である。まず記録用プログラムを所定の場所にロードし、コピーキーの割り込み(PC-98 に用意されている疑似割り込みで、キートップに「COPY」と記されたキーを叩くと起こる)の割り込みベクトルに、記録用プログラムの先頭部分(そこにベクトル設定ルーチンを置く)を指させておく。次に PC-98 の ROM ルーチンを読んで、対象ソフトウェアの入ったフロッピーを立ち上げる(ブートする)。そのフロッピーはいわゆる「プロテクトのかかった」ものであって差し支えない。対象ソフトウェアが立ち上がったら、利用者はコピーキーを叩く。その時点でベクトルの設定がおこなわれ、記録がはじまる。その際、確認のためブザーを鳴らすことにしている。

この場合において、もし対象ソフトウェア自身がコピーキーの割り込みベクトルを書き換えるようになっていたとすれば困るわけである。そこで次のような策を講じている。ディスク(フロッピーまたはハード)の割り込みベクトルが書き換えられることはまずない。というのは、ディスクについて新しい割り込みハンドラを書くのは大変であるため、たいいていソフトウェアが標準の ROM ルーチンをそのまま使っているからである。ところでいまの場合、ディスクの割り込みルーチンは本システムで用意しているものにすり替わっている。この、本システム固有の割り込みルーチンに、そこを通るたびにコピーキーの割り込みベクトルを、われわれにとって都合のよい値に書き換える仕掛けを組み込んでおく。

対象ソフトウェアによっては、上記の方式そのままでは起動できないこともある。たとえば、固有のキーボード用割り込み処理ルーチンを用意し、その中でキーボード用割り込みベクトルを、(恐らくは不正利用防止のために)そのソフトウェア固有の値に書き換えているソフトウェアがあった。ある工夫によって切り抜けたが、ここでは説明を省略する。

### 3.4 二、三の技術的細部

3.1 節の説明中、Bにおいてスタックを調整する、とある中には、Aを「だます」ために適当な戻り番地や状態制御語を積むことのほか、スタックそのものを記録用プログラム固有のものに切り換えることが含まれる。実際、スタックをぎりぎり一杯に使っているソフトウェア(たとえば一太郎第3版—ジャストシステム)もあり、そういうソフトウェアでは、スタックを切り換えないと、(記録用プログラムのスタックが延び出して、プログラムのほかの部分破壊のために)あとで暴走が起こることがある。

画面更新のタイミングについては、割り込みをインターセプトするという上述の方法が使えない。というのは PC-98 シリーズの対象ソフトウェアの多くは、画面アクセスを正規のシステムコールによらず、データを直接 VRAM に書き込むという方法でおこなっており、その場合には割り込みは使われないからである。そこで本システムでは、時計の割り込みが生じると VRAM 領域のデータの変化をチェックすることによって、画面更新を検出することにした<sup>1)</sup>。ただし VRAM 領域の全体を検査の対象とすると、演算能力に負担がかかりすぎる。そこでこの問題に関してのみ、対象ソフトウェアの内容に若干立ち入り、MS-DOS、BIOS、ATOK(一太郎用のフロントエンドプロセッサ)の3種が管理する3箇所のカーソルについて、そのテキスト画面における近傍を検査する、という方針をとることにした。検査領域(カーソルの前後のどの範囲を見るか)は、環境設定用プログラム ksvramsw を使えば調整可能である。グラフィック画面の更新は記録の対象外とした。

(バス方式の)マウスの操作のタイミングについても、画面更新におけると同様の処置が必要であった。マウス用インタフェースからの割り込み回数はきわめて多く、それをそのまま記録すると記憶データ量が膨大となる。そこで二、三の著名なソフトウェアについて製造元から情報を得て、記録を間引く機構を用意した。そしてまったく記録を取らない段階からこまかく記録する段階まで、全部で4段階を切り換えられるようにした。

### 3.5 方式(a)~(c)の比較

方式(b)は、RAM ボードがなくても使えるのが利点であるが、記録の容量に厳しい限界がある(記録できるのは、最大約 20000 事象)。記録領域があふれたときは、(b)では領域を環状バッファ方式で利用し、

(a), (c)ではあふれる少し前にブザーを鳴らして警告するようにしている。ただし(c)では、記録容量は事実上無制限といってよい。第2章の記述は、(c)のバージョンに基づいて作成した。

方式(b), (c)による現在の版では、キーボードからの割り込みの処理を独自の割り込み処理ルーチンでおこない、入力データはMS-DOSの規約にしたがって、バッファ経由で渡すという方式をとっている<sup>2)</sup>。これにより、多様なサービスを付加することが可能となっている(たとえばキー配列をDvorak<sup>3)</sup>やSKY<sup>4)</sup>に変更できるなど)。また方式(a)では、時計の割り込みを独自に使用している対象プログラムが扱えないのに対して、方式(b), (c)では時間計測をBIOSコールを用いておこなっている限りは支障がないように処置している。そのような処置が可能なのは、方式(b), (c)の利点の一つである。

たまたま事象データは、(b)および(c)では、図1に示したようにプログラムkssaveによってファイル化することができるが、(a)ではMS-DOSを前提としていないので、そのようなことはできない。そこでファイル化のためのプログラムを改めてフロッピーから立ち上げ、それを利用する、というようにしている。

### 3.6 その他の注意

このシステムは、現在のところPC-98においてのみ利用可能であるが、それは著者らにとって、上記のようなことをするのに必要な情報が得られたのが、たまたまPC-98だけであった、という事情による。同種のCPU(いわゆる8086系)を用いたパソコンであれば、必要な内部事情が得られ、かつシステム構成上不自然な約束ごとがないならば、恐らく同様のことが可能であろう。なお最近PC-98でも、新しい機種ではその種の情報が徐々に非公開化されつつある模様であるが、これはまことに残念なことといわざるを得ない。

なお本システムは、割り込みごとに若干の計算時間を消費する。したがって対象ソフトウェアの動作はわずかながら(場合によるが、たとえば2, 3%程度)遅くなる。本システムを対象ソフトウェアそのものの評価につながる形で利用しようとするときは、この点十分注意が必要である。一方、利用者側の頭の中の仕組みを理解するため

にのみ用いるのであれば、その程度のスピードダウンは事実上問題にならない。対象ソフトウェアの、たまたまちょっと遅いバージョンを使って実験をしている、と思えばよい。

## 4. 記録形式の詳細

打鍵データの記録内容・形式は、なるべく先を見通し、将来にわたって有効性を保つように選ぶことが必要である。実際著者らは異なる機関に所属し、平行して仕事を進めてきたので、このことはきわめて重要であった。ここに、われわれが現在利用している記録の内容、形式を手短かに示すことは、将来同様のことを試みようと思う読者にとって有用であると信ずる。

### 4.1 記録できる事象

本システムで記録できる事象は、現在のところ表1の「内容」欄に示すとおりであって、基本的にはキーボード操作、ディスクの作動、マウス操作、RS-232Cインタフェースの作動、および画面更新の5種である。このほか、自作のプログラムの場合には、プログラムにシステムコールを埋め込むことによって、「所定の場所を通った」という事実を、事象として記録することができる。各事象は生起時刻を添えて記録する。時刻の記録は、10 msecを単位とする単位時間数による。キーボード操作については、どのキーが押されたか(または離されたか)を併せて記録する。マウス操作ではマウスの座標値を、RS-232Cについては受信文字を、併せて記録する。なお画面出力文字、出力位置なども(図1の説明で述べたように)きわめて有用な情報であるが、採取が困難なため今回は割愛した。

表1の「記号」欄に示すのは、5章の補助プログラ

表1 打鍵キーコードの意味  
Table 1 The key codes.

記号	事象コード	内容
k	0~77	キーボード上のキーのメーク(押し下げ)
	80~F7	キーボード上のキーのブレーク(解放)
8	78	1MBタイプフロッピー装置の作動
h	79	ハードディスク装置の作動
5	7A	640KBタイプフロッピー装置の作動
u	7B + ESC	ユーザプログラムからの要求による記録(ユーザマーク)
r	7C + ESC	RS-232Cの作動。受信データとステータスを記録
m	7D + ESC + ESC	マウスの作動。ボタンと位置情報を付加情報として記録
c	7E	CRT表示内容の更新
	FF*	タイムオーバーマーク
	PE*	ESCマーク(付加情報)
	PD*	再生制御マーク

\*印の事象コードのタイムスタンプ部は、本来とは違う用途に使用する。

ム群において、その種類に属する事象を、記録ないし表示するかしないか指定するために、プログラム起動の際にパラメータの中で使われる文字である。「事象コード」欄については後述する。表1の下3行は、記録表現の便宜上使われる補助的事象コードを示しているものであって、事象記録そのものとは関係がない。

#### 4.2 事象の記録

事象の記録は、事象の種類を示す事象コード1バイトと、時刻をあらわす単位時間数(タイムスタンプ)2バイトから成る計3バイトを基本とすることにした。時刻は8086系のCPUでの約束に従って、下位バイトが若い番地、上位バイトはその1バイト先に並ぶ。

事象コードは、表1の「事象コード」欄に示すとおりである。キーボード関係の事象に関しては、PC-98のキーボードのハードウェアが送ってくるバイト信号を、そのまま事象コードとして用いる。たとえばESCキーを押したときバイト00が、離れたときはバイト80が記録される。このように生の情報を記録しているのは、有用な情報を失わないため、および計測進行中にASCIIコード等への変換をすることによって、計算量が増すことを嫌ったためである。

ディスク、画面更新等をあらわす事象コードとしては、キーボードのハードウェアがキーコードとして使用していないコードを利用する。マウス関係の事象など付加情報を必要とする事象については、事象種別をあらわす通常の記録(3バイト)の直後に付加情報を3バイト単位で付加することができることとした。表1に「ESC」とあるもの(バイトFE)が付加情報の事象コード部に置かれ、残り2バイトの、通常は単位時間数が入っている場所には、マウスの座標、通信線からの受信コードなどが置かれる。

#### 4.3 時刻の記録

上述のように、時刻は2バイトであらわすことになっている。ということは、65536単位時間目、すなわち約11分に1回はあふれが生ずるということである。あふれがあったときには、そのことを事象コードFFを持つ事象記録(タイムオーバー記録)を置くことによって記録する。この事象記録のうしろ2バイトには通算オーバーフロー回数を置く。上述のようにあふれは11分に1回であるから、オーバーフロー回数のオーバーフローは認めないものとしてもなお、通算時間約500日(約1年4箇月)までの記録が可能である。すなわち記録時間は事実上無制限と

いえる。

#### 4.4 ファイル形式

打鍵データファイルの形式は、図3に示すとおりである。全体は事象データ部、コメント部およびタイトル部から成る。

事象データ部には、冒頭にヘッダとして3バイトの0があり、次に前節で述べたような事象データ(不定長、バイト数は3の倍数)が、最後にトレーラとして4バイトの0が並ぶ。コメント部は不定長の文字データにうしろにコメント部の2進表示の総バイト数(4バイト、図3のmmmm)を付加したものである。タイトル部は、打鍵収集システムのバージョン番号(2バイト、図3のvv)、記録開始年月日時分秒(6バイト)、覚え書き(文字データ、不定長、プログラムkstyleによって修正可能)、セパレータ(1バイトの0)およびタイトル部の2進表示の総バイト数(2バイト、図3のnn)がこの順に並んだものとなっている。

補助プログラムkssaveでは、事象データ部とタイトル部だけから成る打鍵データファイルが作成される。コメント部は将来の使用に備えて設けたものであって、その使用方法は現在のところ未定である。

事象データ部のヘッダの値は、2進表示と見たとき通常は0であるが、別に用意してあるデータ圧縮プログラムで圧縮したファイルについては、ここを1にして区別している。

事象記録中の3バイト単位の境界に連続する4バイトの0があらわれることは決してないので、トレーラの位置はあいまいさなく定まる。実際、そのようなものがあつたとすれば、その先頭は事象コードであつて、値は0である。しかるに事象コード0はESCキーのマークをあらわす。またその次にくるのは2バイトのタイムスタンプであり、さらにその次は、次の事象コードである。それらも0でなければならぬ。だがそうだとすれば、ESCキーが2度(ブレークをはさむことなしに)続けてマークされたことになる。それはあり得ない。

このことに関連して、図3のファイル形式において

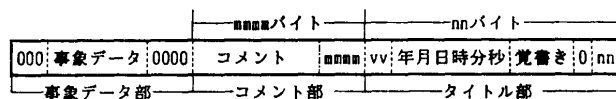


図3 打鍵データファイルの形式  
Fig. 3 The data file format.

て、タイトル部とコメント部、またはコメント部を省いても矛盾がないように設計されていることに注意されたい。それらの場合には事象記録部のトレーラが、バイト数0の表示にも見えるようになっている。バージョン番号 vv は、システムに問題があった場合の修復など、さまざまな領域で大変役立った。

### 5. 補助プログラム群

本システムで得られたデータは、あとで解析してインタフェース研究上役立てるのが目的であるから、データ解析のための道具が必要である。大掛かりな解析は計算力の大きい機種に移しておこなうのが順当であるが、最小限のことは測定舞台である PC-98 の上でできないと、実験を進める上で大変不便である。そこで PC-98 で動作するかなり広範囲な補助プログラム群を用意している。その概要を手短に述べる。

補助プログラムには、現在のところ①打鍵データ収集用、②ファイル管理用、③表示用、④環境設定用、⑤再生用、⑥打鍵データ加工・編集用、⑦簡易統計解析用の7種がある(表2)。これらのプログラムの外部仕様は、長期にわたる使用経験と試行錯誤の繰り返

しの結果として得られたものであって、本来ならここでくわしく論じたいところであるが、紙数の関係もあり、2, 3 の例によって雰囲気暗示にとどめる。

**ksstype** について 図2(a)にその一端を示したものであって、タイミング図をディスプレイ画面にカラーを駆使して表示する。画面操作のためのコマンドは、基本部分についてはUNIXのlessコマンドにならった。たとえばスペースを叩くと次の画面が表示される、改行では表示が1行分進む、「b」を叩くと1画面もとに戻る、打鍵列の探索には「/」を用いる、「q」で抜け出す、などである。これにより、lessを知っている人ならマニュアルなしでも何とか使えるものができた。もちろんlessには対応物のない固有の機能もある。1行の表示秒数を変える、画面の表示行数を変える、などがある。

**ksren** について 図1の⑥に動作例があるもので、日付と一貫番号をもとに重複のないファイル名を作り出す。先頭の2文字に工夫があり、もし呼び出しのパラメータがあればその先頭の2バイトが、カレントディレクトリにファイルksnamehd.kshが存在していればその内容の先頭の2バイトが、さもなければ文字

表2 おもな補助プログラム  
Table 2 The support programs.

名称	パラメータ	説明
ksave ksren kstitile ks_pack	-bmks 識別文字 -u	打鍵データをファイルks.ksdにしまう。 <sup>*1</sup> ks.ksdを「識別文字+年月日_通し番号」というファイルにコピーする。 打鍵ファイルのタイトル部の表示・変更。 <sup>*2</sup> 打鍵ファイルの圧縮形式・標準形式の相互変換。
ksstype ks0type	-ak8h5rmuc	打鍵ファイルのタイミング図形式で表示。 打鍵ファイルをリスト形式(1事象1行)で表示。 <sup>*3</sup>
ksltype	-ak8h5rmucf [改行,省略時間]	打鍵ファイルを要約して表示。 <sup>*3-4</sup>
kssw ksvramsw	(- =)k8h5rmc	記録事象の設定・変更。 <sup>*5</sup> 画面更新検出方式の設定変更。 <sup>*6</sup>
ksplay	real	打鍵ファイルの実時間再生。STOP+スペースにより中断・再開・強制中止ができる。 <sup>*7</sup>
ksdv0 ksdv1 ksev0 ksev1		打鍵ファイルのダンプ(絶対時間形式)。 打鍵ファイルのダンプ(相対時間形式)。 ksdv0形式のダンプファイルから打鍵ファイルへの変換。 ksdv1形式のダンプファイルから打鍵ファイルへの変換。
sp_crt plotb		かな漢字変換に要する思考時間の頻度分布をファイル化する。 <sup>*8</sup> 頻度分布ファイルを棒グラフとして表示する。

- \*1 方式(c)で記録された打鍵データをシステムリセット後に収集する場合には、パラメータ「-bmks」をフルレベルで指定。  
 \*2 打鍵データのタイトル部の修正をおこなう場合は-uを指定。  
 \*3 表示する事象の種類を変更する。各記号は事象コードに対応。-aは全事象表示の意。  
 \*4 省略時にはT250,50、すなわち50クロック(0.5秒)以内の事象間の時間差は表示せず、250クロック(2.5秒)以上の時間差では改行。  
 \*5 =形式では記録事象を設定、-形式では反転させる。  
 \*6 ATOK、MS-DOS、およびBIOSが管理するカーソルの近傍を、それぞれ何バイト検査するか指定する。  
 \*7 パラメータ「real」をフルレベルで指定すると、再生したデータがMS-DOSに渡される。  
 \*8 かな漢字変換(ATOK及び松茸を想定)において、変換キーを押してから、候補文字が表示されたあと、それを確定させるような打鍵がなされるまでの思考時間の頻度分布を、打鍵データから抽出しファイル化する。



ks が使われる。これによって複数人で実験をしているとき、一人で2系統以上の実験をしているときなどに、混乱を防ぐことができる。なおこのプログラムは名称は ksren となっており、「改名」を示唆しているが、もともなるファイル ks.ksd (第2章) もそのまま残り、同じ内容のファイルが別に作られるようになっている。

**ksitle** について 指定ファイルのタイトル部を表示する。パラメータ「-u」をつければ覚え書きの編集ができる。ある時期から、ファイル名の指定にワールドカードを使えるようにしたところ、そのことによるファイル整理作業の効率向上には驚くべきものがあった。

## 6. 使用経験

長期間にわたってこのシステムを使用してきた結果として、いろいろ意外なことがわかってきている。例として文献<sup>1),5),6)</sup>を挙げておく。

このシステムにおいて画面更新のタイミングを採取することができるようになったのは、ある時期からあとのことであるが、そうしてみると画面更新がとれなかった時代のデータは格段に見劣りし、「論文のタネにする気がしない」ようになってしまった。画面更新の記録は多少不自然な、あらゆるソフトウェアに通用するとは言いえない手法によってなされているが、得られるものの意義の大きさから見て、その不自然さは耐え忍ぶ価値のあるものと考えられる。

補助プログラム ksplay によれば、記録された事象をプレイバックすることができる。これは、たとえば作業中に停電があったとき、失われたデータを復活させるなどの使い道があるが、反応が遅くてしばしば打鍵に反応しそこなうソフトウェアについては、残念ながら正確なプレイバックができにくい。

いま画面に何があるかを見定めるのはちょっとしたクイズになる。もし画面の要所要所を記録しておくことができれば、解釈がずいぶん楽になるであろう。そのあたりは今後の問題である。

当然ながら、本システムによる記録採取のオーバーヘッドのために、対象ソフトウェアがうまく働かなかった例もある。たとえば Lotus 1-2-3 (ロータス, 第 2.1 J 版) では、画面更新を採取することはできるが、グラフを描くとカーソル印があちこちに出るなど、画面が汚れることがある。また描画ソフトウェア鶴 (管理工学研究所) では、PC-98 のうち遅い CPU を使った

機種では、マウス操作に関する記録をとると絵がおかしくなることがある。

対象ソフトウェアとして端末エミュレータを利用すると、いろいろ面白い情報が得られるが、うっかりするとパスワードの打鍵が記録されてしまうので注意が必要である。

第3章の方式(a)では、最初に記録開始の合図としてコピーキーを叩くのを忘れると記録が取れず、はなはだみじめなことになる。チェックリストなど作って、叩き忘れのないように工夫する必要がある。

**謝辞** この研究の一部に対し、平成元年度文部省科学研究費補助金による補助を受けた。

## 参考文献

- 1) 木村 泉, 柏川正充: ワープロ利用者の思考時間に関する統計的模型の精密化, 情報処理学会研究報告, 文書処理とヒューマンインタフェース研究会, 87-DPHI-14-4, pp. 1-10 (1987).
- 2) 森川 治: キーボードエミュレーションを行うとき望まれる BIOS の機能について, 情報処理学会研究報告, 文書処理とヒューマンインタフェース研究会, 88-DPHI-16-2, pp. 1-10 (1988).
- 3) American National Standard—Alphanumeric Machines, Alternate Keyboard Arrangement, X 4. 22-1983, American Standards Association (1983).
- 4) 白鳥嘉勇, 小橋史彦: 日本語入力用新キー配列とその操作性評価, 情報処理学会論文誌, Vol. 28, No. 6, pp. 658-667 (1987).
- 5) 森川 治: 対話型システムにおけるタイミング情報を含むキー操作列の解釈法について, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol. J 70-D, No. 11, pp. 2198-2203 (1987).
- 6) 木村 泉: 日本文入力方式の習得に関する一実験, 情報処理学会研究報告, ヒューマンインタフェース研究会, 89-HI-24-3, pp. 1-10 (1989).

(平成2年5月10日受付)

(平成2年9月11日採録)



森川 治 (正会員)

1977年東京工業大学理学部情報科学科卒業。1979年同大学院修士課程修了。1982年同博士課程修了。製品科学研究所入所。現在同研究所基礎人間工学部心理情報工学課主任研究員。日本人間工学会, 音楽音響研究会各会員。ISO/TC 159 人間工学国内委員会委員。理学博士。



木村 泉 (正会員)

1935年生. 1960年東京大学理学部物理学科卒業. 1965年同大学院博士課程単位取得退学. 東京大学助手, 東京教育大学講師を経て, 現在東京工業大学教授. 計算機システムのヒューマンインタフェースに関する研究に従事. IEEE, ACM, 電子情報通信学会, ソフトウェア科学会, Human Factors Society 各会員. 理学博士.



柏川 正充 (正会員)

1960年生. 1983年東北大学理学部数学科卒業, 東京工業大学大学院理工学研究科情報科学専攻に進学. 1985年理学修士. 1990年同博士課程単位取得退学. 引き続き同所において研究に従事中. コンピュータと人間の間の界面の問題に興味を持つ.