

自由打鍵実験による打鍵時間分析

富樫雅文

北海道大学理学部

鍵盤打鍵時にキーからキーへ移る所要時間（打鍵間時間）がどのような特性を持つのかを調べることは文字配列の設計や評価のために重要であるが、そのようなデータは文字配列に対して中立的であることが望ましい。

そこで、テキストを使用せず、鍵盤文字配列に依拠しないで、自由に打鍵する実験—自由打鍵実験—を行ない、約112万ストロークにわたる打鍵時間データを採取して、（1）キーの位置や領域別の平均打鍵時間と頻度、（2）先行打鍵で利用した手指の別による打鍵特性の違いを調べた。これらから、標準鍵盤の構造と手指形状の間の不整合性に由来すると思われるいくつかの特徴が見い出された。

キーからキーへの2打鍵間時間のばらつきは正規分布ではなく、むしろ、「時間の対数の対数」が正規分布に近いということがわかった。このことから、打鍵時間が多数の変動する要素の冪（べき）として決まるような人間の打鍵運動機構が示唆される。また、全打鍵について、各指の使用率を求めたところ、小指の使用率は左右とも5%以下で、他の3指と大きな差がみられた。

An Analysis of Free Typing Data

Masatomo TOGASI

Department of Chemistry,
Faculty of Science,
Hokkaido University,
Kita-ku Kita-10 Nishi-8,
SAPPORO 060, JAPAN

Key-to-key typing time data play an important role in design and evaluation of character layout on keyboards. These data are needed to be neutral to any layout.

To get the neutral data, free typing experiment has been done, in which a subject has typed for 1.16 million strokes without any text presented, and therefore without referring to any layout.

Mean typing time and frequency on each key and difference of typing characteristics by preceding hand-finger are evaluated based on the data.

The typing time distribution itself can not be fitted by normal distribution function. Still, taking logarithm of the time twice, distribution of $\log(\log(\text{time}))$ is well fitted to the normal distribution. This suggests that the time of keying could be represented by power of a large number of fractuating time factors.

It is found that the load share in terms of frequency of use is less than 5% for each little finger.

1. はじめに

計算機を使用した新しい鍵盤文字配列の設計の過程では、多くの試行配列の性能を評価しなければならない。そのための基礎データとして使用するキーからキーにわたる打鍵時間データは、本来、いかなる文字配列に対しても中立かつ独立でなければならない。

ところが、従来の打鍵過程の研究では、打鍵時間を測定する際に何らかのテキストを提示してこれを打つように指示するものが多い。テキストを使用するという事は、それを打つために特定の文字配列を使用することを意味する。被験者の常用する配列をもちいた打鍵データでは、運指が熟練によって適応してしまった結果を観察していることになり、当然にも使用した配列に対して有利なデータであり、中立性をそこねている【1】。このようなデータをもとに直接に新しい配列の打鍵特性を推定することはできない。

一方、新しい評価対象配列を与えて、直接、その配列上での打鍵の様子を観察することは理想的ではあるが、被験者にとって未経験の配列であることから、初期の打鍵特性をもとに、熟練後の打鍵特性を何らかの方法で推定するか、または、長時間をかけてその配列上での訓練を行わなければならない。前者には学習過程にかかる一定の不確実性がともない、後者には莫大なコストと時間がかかる。また、多くの配列に対する機械的な評価はいずれにしても不可能である。

打鍵データは提示されたテキストの言語種別や統計的性質の影響を受けるものと考えられる。文字出現頻度などテキストの性質を制御することによって間接的に被験者の運指を制御でき、かたよりのない打鍵パターンなどを得ることが考えられる。しかし、2文字組や3文字組まで考慮した打鍵パターンのランダム化はテキストの自然語性の犠牲において成立するものであり、その結果として、打鍵時のテキストの円滑な視認を損ね、打鍵速度の意図しない低下を招くおそれがある。

本研究は、既存文字配列に依拠せずに大量の打鍵をする実験を行ない、その時間データを求め、これから、新しい配列設計のための基礎的情報を得ようとするものである。

2. 自由打鍵

従来の研究における問題は、打鍵過程を構成すると考えられる、

- (1) テキストを見て運動指令を生成するまでの認知過程

(2) 運動指令によって物理的な打鍵動作を行なう運動過程

を不可分の一体とする見方を背景として生じている。そのような見方は、打鍵特性を常に文字および文字配列を通して観察しようとする態度と結びついている。そうである限り、得られたデータは使用する文字配列に対して相対的にならざるをえない。

しかし、(2)の運動過程には文字配列は直接には関与しないことに着目すれば、この運動過程の抽出によって配列依存性のない打鍵データを得ることができると考えられる。すなわち、打鍵データからの配列依存性の除去という課題は打鍵過程全体からの運動過程の分離観測の問題に還元される。

この分離のためには、「文字を打つ」という形式を放棄すればよい。文字を打つという条件があるために、打つべき文字を何らかの方法で提示しなければならず、また、被験者は認知したそれらの文字を手指の運動指令に変換するための文字配列を必要とした。熟練タイピストでは、よく知られているように、必ずしも1文字ずつの打鍵をしているわけではなく、何文字かの塊(chank)ごとに既に「コンパイル(compile)」されている一連の打鍵動作を起動しているものと考えられているが、認知と動作のために文字と文字配列を必要とすることに変わりはない。

文字を打つという形式を放棄するという事は、視覚的テキストの提示をしないというだけにとどまらず、音声による提示も、また、暗誦や自発的生成も行わないことを意味する。被験者には、「指のおもむくままに、自由かつでたらめに」打鍵するように指示する。そのような打鍵を「自由打鍵」と呼ぶことにする。

3. 実験の方法

自由打鍵実験は次のような要領で実施した。

被験者： 1名 男性(M. T.)

使用器材： NEC-PC9801VXおよび付属鍵盤
キーストローク 3.5mm
動作荷重 20グラム

使用ソフトウェア：

OS MS-DOS V3.1

森川【2】による打鍵時間データ採取プログラム(精度10msec.)

打鍵時間は直前の打鍵のブレークから当該打鍵のメイクまでの間隔である。

作業内容：

打鍵は開始合図の画面表示から終了の表示まで（これを1セッションとする）エコーバック無しで連続打鍵をする。ただし、200打鍵ごとに1目盛増える横棒のグラフがディスプレイ上に表示される。作業開始および終了時にはブザーによる告知をする。1セッションは9600打鍵とする。やむを得ない場合は途中で休止することを認めるが、休止時間は1秒以上でなければならない。

打鍵するキーは基本キープブロック（文字キーと周辺の制御用キー）とし、ファンクションキー、テンキー、カーソルキーは対象から除く。

打鍵時には、

- 「自由に」、
- 「指の動くままに」、
- 「各キーをまんべんなく」、
- 「滑らかに」

打つように指示を与えた。

実験は約5か月にわたり、170セッションを実施した。実験を行なう日は1日に3～5セッションを行ない、セッション間には少なくとも15分以上の休憩をとるようにした（1セッションには正味約30分を要する）。

3. 自由打鍵データ

3.1 経時的変動

打鍵実験は約5か月の長期にわたるために、データには周期的変動のほかに非周期的な変化がみられる。図1は各セッションにおける打鍵時間分布を全セッションにわたって表示したものであるが、最初の50セッションくらいまでは、尾根の両すそがゆるやかである。図2はセッションごとの平均打鍵時間とその標準偏差である。これによっても、はじめの50セッションくらいは速度も標準偏差も急に下降しており、安定化に至る過程と判断される。このことから最初の50セッションは被験者がこの実験に馴れるために要した期間とみなして以後の処理から除外することにした。しかし、打鍵時間のピーク値（分布のモード）は150～160msec.で全セッションにわたってほとんど変化はない。

3～5セッションごとの小周期の変動は作業日に対応しており、おおむね、その日の最初のセッションが最も速く打たれ、徐々に遅くなっていく傾向がある。第161～170セッションはそれ以前から1か月ほどの時間において実施されており、作業のベースが変化してしまっている。

一般にこのような長期にわたる打鍵実験においては、初期の順応段階や終期の過剰適応段階など、実験意図に沿わなくなる時期のあることが推定される。

3.2 有効データ

打鍵データの中には、異常に短い時間で打たれているものや、逆に、異常に遅いものもある。それらは打作業中に何らかの事故があったために現われたものと解釈される。また1秒以上と規定された休憩の時間も含まれている。そこで、50msec.未満たまたは500msec.超の時間で打たれたものとその後後の打鍵は無効打鍵として解析の対象から除外した。異常打鍵に着目した分析も興味ある情報を提供するものであるが、今後の処理に回す。

このようにして、約112万ストロークのデータが分析の対象として残った。

3.3 同手打鍵と交互打鍵

連続する2打鍵を左右の手でどのように打つかによって、特に、同じ手を連続使用するかどうかによって、打鍵特性ははっきりと異なることが知られている。これは、交互打鍵では次の打鍵のための並列動作（パイプライン化）が可能であるのに対し、同手打鍵は逐次的にしか行なえないことから当然である。両者は「異質」な動作である。図3は連続する2打鍵における手の系列ごとにみた打鍵時間分布である。同手打鍵は交互打鍵にくらべて約40msec遅くなる。逐次動作の時間を基本とみれば、「交互打鍵の方が40msec速くなっている」というべきであろう。また、被験者が右利きであることが、（1）右-右の系列が左-左の列より速く、（2）左-右の系列が右-左よりも速い、という点にあらわれていると思われるが、左利きの場合にこれが逆転するかどうかは、後述する鍵盤形状の左右非対称性との関連で自明ではない。

3.4 手間遷移と段間遷移

平賀ら【3】によれば、Qwerty配列上の英文タイピングでの同手打鍵率は約48%である。ところが、表1に示すように、本実験による自由打鍵の状態では同手打鍵率は約24%であった。文字配列やテキストなどによる束縛を受けない状態での自発的な同手打鍵率がこの程度であることは、Qwertyに上の英文タイプが同手打鍵率という点でも自然な状態からかけはなれていることを示している。

表2は段間遷移の様子を表している。これによれば、最下段を除いた4段では相対的に下段方向への遷移が最上段方向への遷移にくらべて、すべて速く打たれていることがわかる。また、全打鍵の約1/3がホーム段内での連続打

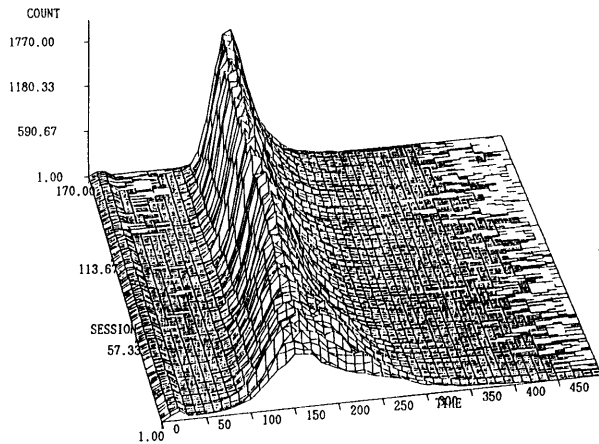


図1 セッションごとの打鍵時間分布

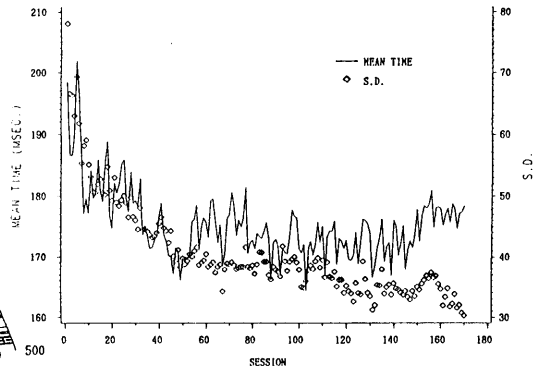
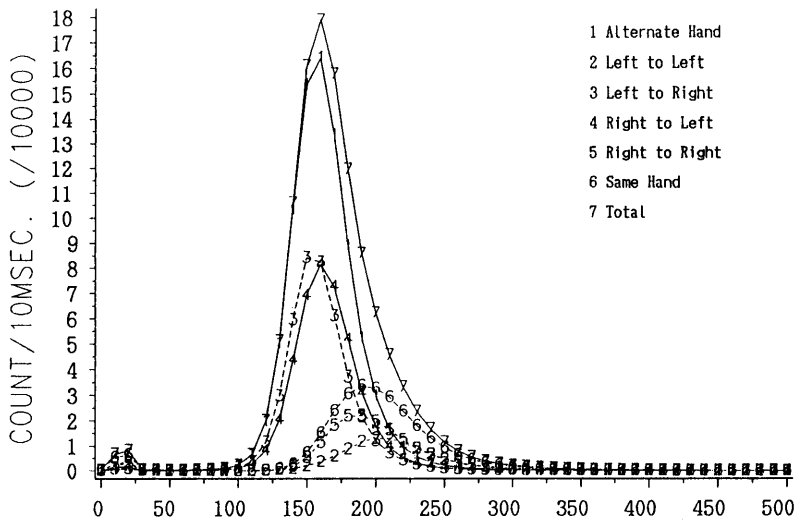


図2 打鍵時間の平均と標準偏差の推移



- 1 Alternate Hand
- 2 Left to Left
- 3 Left to Right
- 4 Right to Left
- 5 Right to Right
- 6 Same Hand
- 7 Total

図3 打鍵時間分布

	左手	右手	(第2打)
左手	9.3 2140	38.1 1606	
右手	38.1 1656	14.5 2011	

(第1打)

表1 手間遷移でみた打鍵頻度と平均打鍵時間

上段は打鍵頻度 (%)

下段は平均打鍵時間 (1/10 msec.)

	最上段	上段	ホーム	下段	最下段	(第2打)
最上段	0.6 1778	0.7 1750	2.0 1919	0.3 1963	0.0 2017	
上段	0.8 1751	6.5 1697	12.6 1768	2.6 1814	0.1 1768	
ホーム	1.7 1753	12.2 1704	32.7 1693	8.4 1840	0.3 1762	
下段	0.5 1901	3.0 1700	7.8 1730	5.8 1715	0.0 1723	
最下段	0.0 1889	0.1 1743	0.3 1778	0.1 1834	0.0 1909	

(第1打)

表2 段間遷移でみた打鍵頻度と平均打鍵時間

上段は打鍵頻度 (%), 下段は平均打鍵時間 (1/10 msec.)

鍵であり、打鍵速度もすべての段間遷移の中で最高である。

3. 5 キー位置と打鍵時間

図4は鍵盤上の位置別にみた打鍵頻度と平均打鍵時間である。奇妙なことに、(Q w e r t y)のF列とJ列の打鍵頻度が、これを分担する人差し指にとってより遠いはずのG列、H列にくらべて、ほとんど桁違いに低くなっている。RにくらべてTが、また、UにくらべてYがより打ち易いであろうことは、それらのキーの位置が(両手を内向させた状態で)左右の人差し指の動線により近いことによるものと思われる。しかし、その他、特にホームポジションであるFとJがGおよびHよりも低頻度であり、しかも4指のホームポジション中で最低であることの説明は今のところ見い出せない。この「F列とJ列の消失」が被験者の個性や既存配列からの影響によるものでないとするれば、「指がこの列を忌避している」と認めざるをえない。(右手親指で打っている)空白キーの打鍵頻度は1%に満たない。これは、他の4指による打鍵にくらべて親指による打鍵は指の使い方が大きく異なり、主として手首の回転(rolling)によるものであるため、異種の動作の混入として無意識のうちに避けているのではないかと思われる。

キーからキーへの2打鍵組の中では、Q w e r t yの「Z P」や「A P」が非常に速く打たれ、また頻度も高い。概して、鍵盤の左下隅から右上方向に至る系列がよく打たれている。その反対に、左上隅から右下方向に向けては低速で低頻度となっていて、「Q _」にいたっては、頻度0であった。これは、鍵盤の列(カラム)が左に傾斜していることによって、両手先が操作時に左へ向く傾向にあることによるものと思われる。また、右手小指の分担するキーの列は指の動線からかけはなれており、左手小指の「Q A Z」の列が動線にうまく沿っていることと対照的である。しかし、左手小指はCTR Lキーなどとの接触事故も多く、異常に速い2打鍵組の第1打鍵となることが多い。「P」と「@」の両方を同時にたたく「誤爆」が頻発したことも右手小指の動線と鍵盤の列との不一致が原因と考えられる。

(親指を除く)各指の使用頻度は小指がその他の3指に対していずれも1/3程度となっている。従来、弱い指であるとされている薬指が人差し指や中指とほぼ同程度の負荷を分担していることは、機械式タイプライターの時代に比べてキーの動作荷重が軽くなっていることの反映であると思われる。ストロークが長くかつ重いキーを打つことに対しては持久力や運動性の点からみて不利な薬指であっても、現代の電子式キーボード上では中指や人差し指と同じような負荷を持たせても問題ないことを示している。また、小指が他の3指とくらべて特に短いことと、この

ような頻度分布との間に何らかの関係のあることが考えられる。

これらは、標準鍵盤の形状における、(1)左右で非対称である、(2)キー配列面が平面である、(3)キートップの面積がみな同じである、などの特徴と手指の形状や運動性との間の不整合性のあれこれが、拘束をとまわらない打鍵状況で顕在化したものといえる。

一方、指の使いかたをみても、異手同指打鍵率は30%に達している。このことは、打鍵時に「手の選択×(左右を問わない)指の選択」という機構が働いていることを示唆する。

4. 打鍵時間分布の当てはめ

打鍵時間の分布を何らかの関数で近似することを考える。もし、実験データを良く再現し、かつ、簡潔な表現を持つ関数があるならば、その関数が打鍵時の人間の動作機構を推定するてがかりになる。

木村ら[4]は仮名漢字変換による日本語入力時の変換キー打鍵から次の打鍵に至る時間の分布について、正規分布と指数分布の合成による分布関数を主として用いて当てはめを試みている。そこでは、操作の性格上、判断や選択などの思考過程に深く関わりながら打鍵時間が決まるので、当てはめに用いた関数には運動過程に要する時間と思考過程に要する時間との和の分布という意味が付与される。

しかし、自由打鍵においては、原理的に思考過程(および認知過程)を必要としないので、観測される打鍵時間は純然たる運動過程に要した時間であることが期待される。つまり、そこでは打鍵動作一般から運動過程の分離観察が行なわれているものと考えている。

まず、全体の打鍵時間分布を交互打鍵と同手打鍵の時間分布に分解する。これは、交互打鍵と同手打鍵では並列動作の入る余地という点からみてもその動作・制御機構が互いに異なるものであることを想定しなければならないからである。(細かくみれば同手打鍵であっても異なる指から指への系列では一定程度の動作並列化が可能である。)

当てはめようとする分布は図3にあるように、左(0)に有限な左右非対称な山の形をしていて、その裾野は右側にやや長く尾を曳いている。このような形を再現する関数はいくつかあるが、正規分布への帰着という点から、ここでは、時間の対数の対数が正規分布をするような関数(仮に重対数正規分布と呼ぶ)を仮定して実験値に最も良く当てはまるパラメータを求めることにする。当てはめには統計解析パッケージSASの非線型回帰ルーチンを使用した。

重対数正規分布関数は次のような形をしている。

0.05 1956	0.05 2090	0.38 1777	0.71 1703	0.10 2020	0.13 1996	0.09 1957	0.11 1870	1.12 1717	0.49 1773	0.26 1809	0.04 1940	0.02 1934	0.03 1895	0.05 1821	3.8 1779	最上段
0.01 1942	0.36 1918	1.93 1727	3.72 1664	0.36 1817	5.25 1722	1.63 1789	0.39 1722	4.16 1684	2.74 1681	1.78 1613	0.18 1859	0.07 1742	0.22 1661	22.6 1703	上段	
0.00 1838	0.00 2079	2.50 1731	8.98 1718	8.13 1706	0.94 1806	3.54 1831	11.6 1671	1.01 1754	8.05 1746	9.71 1734	1.16 1716	0.13 1831	0.05 1736	56.1 1723	ホーム	
0.14 2048	1.27 1803	2.48 1805	1.18 1843	0.16 1943	5.00 1824	2.18 1668	0.34 1816	2.15 1784	1.53 1775	0.38 1863	0.29 1863	0.10 1897	17.2 1787	下段		
0.00 2100	0.00 2053	0.03 2003					0.48 1750				0.01 1880			0.5 1767	最下段	

0.2 2022	4.2 1773	13.8 1737	13.7 1707	1.6 1836	13.9 1789	15.5 1685	1.9 1765	15.5 1733	14.5 1730	3.6 1687	0.6 1860	0.2 1825	0.3 1692	0.0 1821	列
4.4 1784	13.8 1737	13.7 1707		15.5 1794		17.4 1693		15.5 1733	14.5 1730			4.8 1719			指
		47.4 1751								52.6 1718					手

図4 位置別の打鍵頻度と平均打鍵時間

上段は打鍵頻度(%)、下段は平均打鍵時間(1/10 msec.)

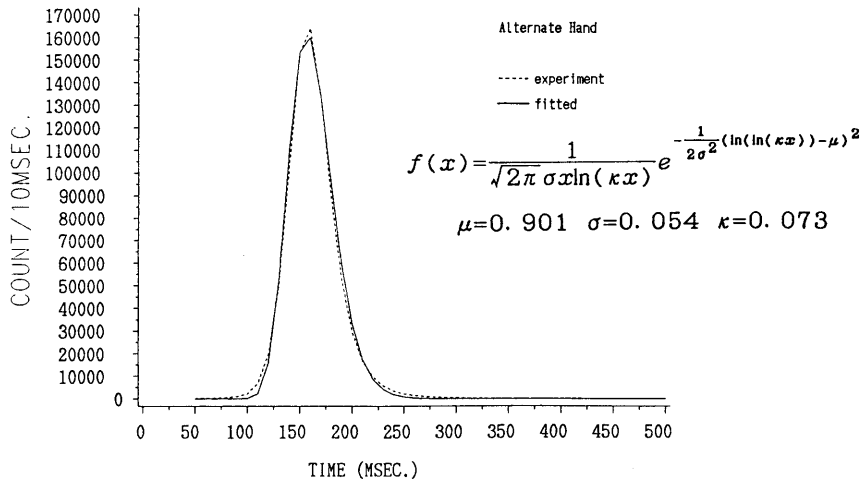


図5 重対数正規分布による当てはめ(1) 交互打鍵

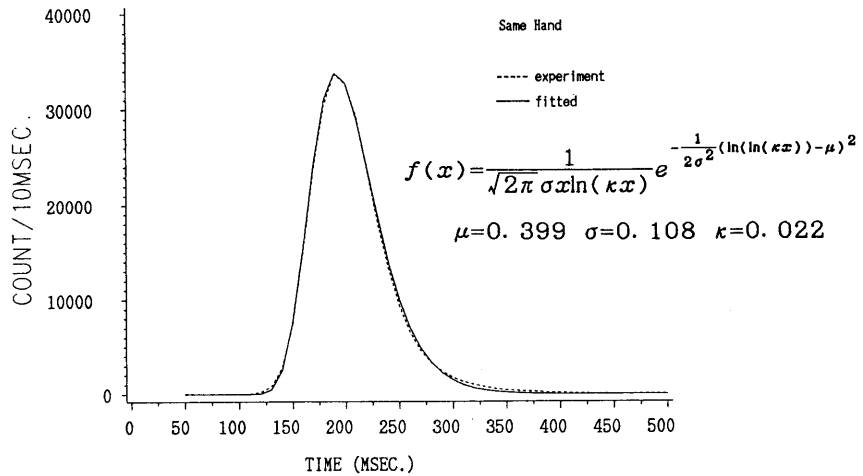


図6 重対数正規分布による当てはめ(2) 同手打鍵

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma x \ln(\kappa x)} e^{-\frac{1}{2\sigma^2} (\ln(\ln(\kappa x)) - \mu)^2}$$

同手打鍵に対しては：

$$\mu=0.399 \quad \sigma=0.108 \quad \kappa=0.022$$

で最適となり、

交互打鍵では：

$$\mu=0.901 \quad \sigma=0.054 \quad \kappa=0.073$$

となった。

図5、図6に当てはめ結果を示す。同手打鍵にくらべて交互打鍵の方は実験値とのずれが大きく、左右の裾野部分で過小になっている。一方、同手打鍵では左側の裾野部分は比較的良く合っている。このことは何を意味するのであろうか？

交互打鍵では、左右手間で動作の並列化が行なわれている。一方の手の打鍵が完了する前に他方の手の指がキーを「離陸」して次の目的キーに向けて「飛行」を開始している。反対手の打鍵完了—「着陸」—との間の同期制御は打鍵順序の維持程度のものであって、ゆるやかであると思われる。しかし一方、左右手が完全に独立した「運航計画」に従っているということも想像しにくい。反対手の動作のある状態への移行（たとえば、もはや制御を要しない「弾道飛行」への移行）が離陸許可信号になっている可能性もある。重対数正規分布が、離陸—飛行—着陸という系列の合計所要時間に対するモデル、すなわち、同一の手の離陸的動作の時間的ばらつきを表すものであるとすれば、交互打鍵におけるずれは、直接観測にからまない並列動作期の時間分布をモデル化して組み込んでいないことに起因すると考えることができる。

正規分布は、同一の母集団からの標本の和の分布の極限として構成することができるが、重対数正規分布では標本の「べき」の分布となる。打鍵間時間の分布が重対数正規分布となることは、観測にかかるマクロな打鍵時間が多数の変動要因の「べき」の形で決まるような機構の存在を示唆している；変動要因を t_i とすれば打鍵間時間 T は、

$$T = \frac{1}{\kappa} e^{\sum t_i^{\kappa}}$$

となり、このとき、

$$\ln(\ln(\kappa T))$$

は正規分布となる。重対数正規分布の性質として、 t_i の変動幅が非常に小さいときには、 T は近似的に対数正規分布となり、変動幅がそれよりもさらに小さい場合には正規分布に近くなる。逆に考えれば、このような機構のもとでは小さな「事故 (incident)」が、正規分布の場合のように他の多くの正常な要因の中に埋もれてしまわず

に、マクロな遅延として表出してしまう、ということである。「寛容な和」に対する「過敏なべき」とでもいうべきか。

5. 議論

今回の実験では被験者は1名である。したがって、そこから得られたデータから直接に普遍的な打鍵特性と個人によって変化する部分を分離することは不可能である。しかしながら、打鍵データから偶然性を排除するには、この100万ストロークレベルでもまだ不足の感がある。事実、Qwertyの「Q_」という組み合わせは100万ストロークの中について1度も現れることがなかったし、異常に速かったり、反対に異常に遅い2打鍵組もある。それらの2打鍵組は生起回数が少ないために多数の正常打鍵によって平均化されることがなかったのである。1名の被験者の100万ストロークと100名の被験者の各1万ストロークの優劣を論ずることは、「りんごとみかん」の優劣を論ずることに似る。ミクロな観察とマクロな観察はおそらく相補的な役割を担うものであろう。

実験に使用した鍵盤は市販されている標準鍵盤であって「理想的鍵盤」ではない。したがって、これの操作時の運動特性とは、手指が現実の鍵盤に適合すべく格闘している様子をとらえたものであるともいえる。自由打鍵という方法によって、打鍵特性を「配列相対」という状況から救い出すことはできたものの、依然として「鍵盤相対」であるという点に変わりはない。新しい文字配列の設計に役立つことはあっても、新しい鍵盤そのものの設計に対してはその基礎データとはなりえない。

打鍵間時間分布に対して用意した重対数正規分布は、第1次近似と考えるべきである。精密化のためには、異手間および同手異指間の動作並列化のモデルへの組み込みが必要である。また、自由打鍵実験が常に「無念無想」の状態で行なわれているとは考えにくく、「ためらい」その他の何らかの思考が入って打鍵時間を大幅に遅らせている可能性がある。大きな「事故 (accident)」の発生する確率も考慮されいない。さらに、タイピングの実作業状態を再現するためには、認知過程の分離観察や運動過程との間の相互作用機構を明らかにしなければならない。

謝辞

打鍵時間測定プログラムを提供して下さった通産省製品科学研究所の森川治研究官に感謝します。

参考文献

- 【1】 小西和憲，樽松 明，田代秀夫：英語鍵盤配列の評価，電子通信学会電子計算機研究会資料，EC 81-21，pp. 45-52 (1981)
- 【2】 森川 治：時間情報を利用した制御を可能にするMS-DOSの拡張機能について，情報処理学会文書処理学会研究会報告14-2 (1987)
- 【3】 平賀 譲，小野芳彦，山田尚勇：タッチタイプによる日本語入力方式，情報処理学会日本語入力方式研究会報告2-3 (1981)
- 【4】 木村 泉，粕川正充：ワープロ利用者の思考時間に関する統計的模型，情報処理学会日本語文書処理研究会報告8-3，pp. 1-10 (1986)