

脳におけるタイプ作業処理過程のパイプラインモデル

岡留 剛
小野芳彦
山田尚勇

東京大学理学部情報科学科

梗概

タイプ作業時の脳の情報処理過程には、左右の手ごとに出力キューがあるというパイプラインモデルを提唱する。われわれは、日本語入力方式として熟練者にとって最も楽であり自然なものとほどのようなものであるかを定めるために基礎的研究を行ってきた。本論文はその一端であり、タイプ作業においてわれわれが見出したタイプエラーや、現在までに報告されているタイプ作業におけるさまざまな現象を解析することにより、一つのタイプ作業中の情報処理のモデルを構築した。このモデルは多段階の処理部から成り、各段階は時間的に重ね合わさって処理が行なわれる。このモデルによれば、打鍵がきわめて速く行なわれることや種々のタイプエラーなどを説明でき、とくに、出力部ではキューが左右の手それぞれに存在するという仮説によってある種のタイプエラーが自然に解釈できる。

1. はじめに

タイプ作業は熟練した技能として古くから心理学的な興味を持たれてきた。とくにタイプライタが社会に受け入れられてしばらくした1900年~1940年にかけては、どのようなキー配列が優れたものであるかということをもめぐるさかんに研究が行なわれた(たとえば Duorak et al., 1936; Yamada, 1980)。また、最近ではエレクトロニクスの進歩により、コンピュータがオフィスにおいて用いられるようになり、人間との接点であるキーボードとそれを使用する人間の側の認知機構について興味が高まっている。

このような状況の中でわれわれは、日本語のための入力方式、とりわけ熟練したタイピストにとって最も楽であり自然な入力方式とはどのようなものであるかということを探るために、さまざまな研究を行ってきた(Yamada, 1983)。その研究は、実験心理学の成果やわれわれ自身による実験を通して行なわれた主に人間の側の要因についてのものである。本論文もその研究の一端であり、とくにタイプ作業中の人間の脳における情報処理についての考察を行って、その過程のモデルを構築する。

タイプ作業と一口で言っても、たとえば初心者と中級者、さらに熟練者としては処理の仕方が異なると考えられ、また、行なうタイプ作業がコピータイプか聴き打ちタイプか創作タイプかでもやはり処理様式が異なるであろう。われわれのここでの興味は中心は、熟練したタイピストがコピータイプを行なっているときの状態である。熟練した者では原稿だけを見ているとは限らず、ときどきコピーやキーボードにも目を向けることが知られており(Long, 1976)、また、エラーを起こした時などはタイプ動作が一時的に止まる。われわれの議論では、このようにコピーやキーボードに目を落している状態やタイプ動作が止まっている状態ではなく、原稿に目を向けてなめらかにタイプ作業を行なっているときだけの情報の処理過程を考えることにする。

本題に入る前に用いる用語についてここで定義を行なおう。「打鍵間時間」とは、かならずしも連続していない2打鍵の間の時間を言う。ただし、なんのこたわりもなく打鍵間時間と言う場合は連続した2打鍵の間の時間を指し、それ以外の場合は打鍵 a と打鍵 b の打鍵間時間と言う。「2文字組」とは連続した2つの文字の組のことを言う。タイプエラーについては、さまざまな分類の仕方があるけれども、われわれは Gentner et al. (1983) の分類に従う。表 1.1 にタイプエラーの種類とその例を掲げる。なお、これらの主として人為的エラーに対し、正しく打鍵を行なったにもかかわらず、電気的接続がうまく行かなかったときに生じる省略エラーや、キーボード上の行や用いた指は正しいにもかかわらず、手の位置がずれていたとか、指の運動が誤ったなどというこのために生じる主として物理的な代入エラーは、「誤打鍵」と呼ぶことにする。

2. タイプ作業時の処理過程のモデルの概観

Shaffer (1976 他) やその他の人々たちによって発展させられたタイプ作業時の情報処理のモデルは、現在最も多くの研究者に受け入れられている。そのモデルでは、視覚入力を受けてからタイプ出力が行なわれるまでの処理過程がいくつかの段階に分かれており、各段階の処理が時間的に重なり合っている。熟練したタイピストは平均して6~8文字の先読みを行なっており(Butsch, 1932; Hershman & Hillix, 1965; Shaffer, 1973)、また、タイプ作業における打鍵時間が選択応答試験における応答時間よりもかなり小さい(Well, 1916; Lashley, 1951 他) という事実などにもとづいてこのタイプ作業モデルは考えられた。

研究者によって詳細は異なるけれども、このモデルでは、少なくとも二つの処理部が存在すると考えられている。一つは入力処理部であり、他の一つは出力応答のための実行部である。この二つの処理の間の同期をとるために、図 2. 1 のように、これらの処理の間にはバッファが存在すると仮定される(たとえば Shaffer, 1976)。入力処理は、視覚入力を単語やシラブルなどを単位としてまとめて読み込むと考えられている(Shaffer, 1973)。このまとまった一つの文字列が、入力処理部において、運動の命令を蓄積している長期記憶を参照して一つのキーを打つための運動命令に変換されて、それがバッファに直列的に入れられる(Shaffer, 1976)。この単純な2段階処理モデルでさえもいくつかのパリエーションがあり、バッファの情報量がある値を超えたら入力処理部の作業が止められるもの(Shaffer & Hardarick 1970) やバッファ内の情報量がある値以下になったとき入力処理部が動作を行ない始めるもの(Thomas & Jones, 1970) などが考えられる。

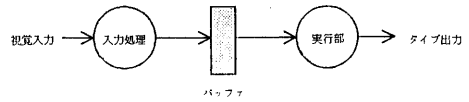


図2. 1. コピータイプ作業時の情報処理の2段階モデル。

さらに上で述べた入力処理部は、視覚短期記憶に言語知識を用いて文字列の情報を取り入れる視覚入力取り込み処理とその短期記憶内の視覚的情報を運動命令の列に変える変換ルーチンに分けることができる(Van Geffen, 1967; Thomas & Jones, 1970; Cooper, 1983; Logan, 1983)。また、これら各段階の処理の同期をとる機構、とくに出力バッファから情報を取り出して出力応答を行なうための同期機構が存在すると考えられており(Shaffer, 1978; Cooper, 1983; Logan, 1983)、さらにエラー検出の機構も存在すると考えられている(Van Geffen, 1967; Cooper, 1983)。Logan(1982)は、停止信号をタイピストに与えて即座にタイプ作業を止めさせる実験を行ない、その結果、信号を与えてから停止するまでに教打鍵かかることを見出した。この実験結果から Logan は実行部からタイプ出力の間にもう一つバッファが存在すると考えている(Logan, 1983)。しかし、停止信号を聞いてから(あるいは見ながら)実行部が停止するまでに教打鍵の時間がかかると考えればこのバッファは必要ない。

第3節以下で導入するわれわれのモデルは、ここで述べた多段階処理モデルをさらに発展させたものである。

以上に述べた多段階モデルの他に、最近行われたタイプ作業の情報処理モデルとしては Rumelhart と Norman が提唱した A T S (activation-triggered schema) さまざまな分類の仕方があるけれども、われわれは Gentner et al. (1983) の分類) システムがある(Rumelhart & Norman, 1982; Norman & Rumelhart, 1983)。彼らのモデルはタイプ作業において見られるつぎの二つの現象にもとづいている。すなわち、

- a. 熟練したタイピストの手と指は、いくつかのキーに対して並列的に動く。
- b. タイプ動作単位は、たいいてい単語かそれよりも短い文字列であるように思われる。

A T S システムの特徴を簡単にまとめてみよう。このシステムは、運動の特性を記憶したスキーマ(schema)の集合と活性値(activation value)を持つ。各スキーマは活性値を持ち、そのスキーマが活性化されると活性値は増え、そのスキーマが抑制されると活性値は減る。ある適当な条件が満たされると、一つのスキーマが引き起こされる(triggered)。引き起こされたスキーマは子供を生み、子供のスキーマ間に資源(手や指などの)競合が起こる。そして、活性値が最も高い子供が実際の打鍵をはじめに行なう。打鍵を行なっているスキーマは、それに続く打鍵のスキーマを抑制することによって打鍵の時間的順序が決定される。A T S システムでは、同期機構は存在せず、各打鍵の実行は各スキーマが持つ活性値と手や指の状態相対決まる。

Rumelhart と Norman のこのモデルはたいへん興味深いものであるけれども、同期機構に関する考察から Logan(1983)は、手や指やキーボードの物理的制約が打鍵の実行時を決定するのではないと A T S システムを批判している。また、打鍵間時間を測定したタイプ作業実験から、Shaffer(1982)は A T S システムでは説明しにくい打鍵間時間のバタンの事例を示しており、さらに Grudin(1982)も、転置エラーが起こったときの打鍵間

時間を解析し、RumelhartとNorman のモデルでは説明しにくい現象を述べている。

3. バイブラインモデルの各処理段階

われわれが行なった言語問題処理とタイプ作業の同時遂行実験において興活深いタイプエラーが見つかった。一つとして設計・開発された「Tコード」について簡単にまとめると、Tコードでは、日本語の文字のうち使用頻度の高い約1200字の一字一文字が異なる連続する2打鍵でもって符号化されている(Hiraga, Ono, & Yamada, 1980)。とくに、最高頻度の約250文字は右打鍵左打鍵の順で符号化されており、交互打鍵の連の平均長が、Qwertyキーボードでの英文タイプよりもかなり長いものとなっている。(Yamada, 1983) 現在われわれのものには数名のTコードタイプリストがあり、うち二名は1分間に約200文字(400打鍵)日本語を打つことができ、

3. 1. 二つの出力キュー

さて、われわれが行なったTコードによるタイプ作業実験で見つかったタイプエラーを下に示す。

正しい打鍵列 j s l a h d ; a (Qwertyによる表示)
 実際に打たれた列 j s l s h a ; a (Qwertyによる表示)

「している」という文字列は、Tコードでは4文字ともホームローでかつ右手左手の順で打つ。上に示したエラーでは、右手の打鍵はすべて正しく行なわれているのに対して、左手の打鍵が1文字だけうしろにづれている。上の例のほかにも同じような型のエラーがいくつか見つかった。それらを図3. 1に示す。

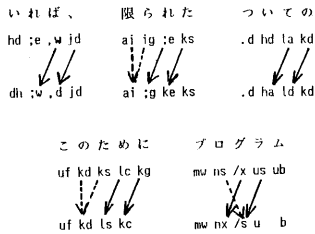


図3. 1. 左右の手のあいだで指ずれが起こったタイプエラー。

英文のタイプ作業においても同様なタイプエラーが報告されている(Shaffer, 1975)。それは、

(q) w e n t d o w n (正)
 w n e t t o d n w (誤)
 (b) f o c o s k (正)
 f c o s k (誤)

というものである。ここで一つ注意しておきたいことは、われわれが見つけたタイプエラーとShafferが報告しているこれらのタイプエラーはすべて交互打ちの文字列を打っているときに生じたものである。

Shaffer(1975)とRumelhartとNorman(1982; Norman & Rumelhart, 1983)は、上のエラーは異なる手の間で起きた連続した単なる転置エラーであると解釈している。しかし、この解釈はあまりにも単純すぎるように思われる。というのは、転置エラーは片手打鍵の2文字組よりも交互打鍵の2文字組のほうが生じやすい(Shaffer, 1976; Rumelhart & Norman, 1982; Gradin, 1983)けれども、上で述べたように2文字組の転置エラーが二つ以上連続して起こるのは交互打鍵が続くときだけであり、片手打鍵が続くときや、交互打鍵と片手打鍵がおりまざっているような場合には見られないからである。

そこでわれわれは、この種のタイプエラーは出力キューが左右の手それぞれにあることを示唆していると考え、このように考えると、次節でくわしく述べるように上に示した指ずれのエラーが自然に解釈できる。

いまかりに出力キューが一つしかないか、または存在しないかと仮定する。もし、各転置エラーが起きる事象がそれぞれ独立だとすると、連続した転置エラーが生じる確率はきわめて小さいものとなる。この仮定のもとで、wne todnw (went down) のような2文字組の四つの連続した転置エラーが生じる確率を求めてみよう。そこでいま2文字組の転置エラーが起こる確率を1打鍵あたりPとしよう。すると、各転置エラーが起こる事象が独立であると仮定したとき、ある2文字組から四つ転置エラーが連続する確率は P^4 となる。一人のタイピストの1回の実験での全タイプ作業時間をTとし、そのタイピストの打鍵間時間の平均をtとすると、全打鍵数は $T/t = n$ となる。この全打鍵列中に四つの連続した転置エラーが起こる回数は平均

| 転置エラー transposition error | transposition (transposition) | procedure (procedure) |
|------------------------------|----------------------------------|--------------------------|
| 交換エラー interchange error | inrtchange (interchange) | wncrg (wrong) |
| 移動エラー migration error | miagrtion (migration) | oethr (other) |
| 省略エラー omission error | omission (omission) | anther (another) |
| 挿入エラー insertion error | insertion (insertion) | asnd (and) |
| 代入エラー substitution error | sumstition (substitution) | emrror (error) |
| 交代エラー alternation error | thses (these) | threr (there) |
| 2重エラー doubling error | eeror (error) | bokk (book) |

表1. 1 タイプエラーの分別。

$n \times P^4$ となる。熟練したタイピストでは $P < 1/1000$ かつ $t \sim \text{msec}$ である(Shafferの実験における被験者はこの評価が成り立つ)から、1時間の実験では $P = 1/1000$ で $t = 100\text{msec}$ とすると、平均約 4×10^8 個の四つの連続した転置エラーが生じることになる。1日平均5時間で週5日間タイプ作業を行なうとすると $1/6 \times 10^5$ /年すなわち 0.17×10^5 年に1回の割合で四つの連続した転置エラーが起きる。

もちろん上の計算では各転置エラーが生じる事象は独立であると仮定されており、いわゆる「ナダレ」現象は考慮に入られていない。しかし、出力キューが二つ存在することを仮定しなければ四つ以上の転置エラーが連続する確率はきわめて小さいであろう。また、本報で述べたような、Tコードでの実験で見つかったエラーや図3. 1に示したエラーは1時間たらずの実験間に起こったものである。Tコードでは、英文タイプに比べて交互打鍵の連が長いことからこの種のタイプエラーが比較的起きやすいと思われる。

RumelhartとNorman(1982; Norman & Rumelhart, 1983)のモデルでは、シミュレーションの結果全体で1200打鍵のうち、dismal-dsiaml という交互打鍵の2文字組の転置が二つ続いたものが見つかった。しかし、彼らはシミュレーションにおいて、エラー率を通常のタイピストの60倍にしたにもかかわらず、わずかに1例だけ、それも2連続の転置エラーを見出しただけである。それゆえShaffer(1975)やわれわれが見出した三つ以上連続する2文字組の転置エラーはATSシステムではほとんど起こりえないであろう。

このように、出力キューが一つしかないか、または存在しないモデルでは、連続する転置エラーは解釈が困難である。

3. 2. 二つのキューの機構と打鍵の実行

前節で述べたように、タイプ作業時の情報処理過程には左右の手のためのキューが二つ存在すると考えられる。それでは、この二つの出力キューに入る情報はどのようなものであるか。また、左右それぞれのキューの同期はどのようにとられるのだろうか。以下この二つの疑問について考察する。

出力キューに入っている1打鍵あたりの情報には、もはやその打鍵が左手で行なわれるのか右手で行なわれるのかを示す情報は必要ない。キュー内の1打鍵あたりの情報としては、指とキーボード上の行、さらに人指し指の場合は内側か外側かを表す情報は必要不可欠である。同じキーを打つ場合でも、文脈によって、そのときの手の状態が異なっていることを考えると、1打鍵あたりの情報は、まだ一つの指(と手)を動かすいくつもの筋肉への命令という形ではなく、上に述べたいくつかの情報が符号化された形になっていると考えられる。この場合、キューから情報を取り出し、符号の解釈を行ない実際の筋肉への指令に変えてその指令を発することを行なうのが実行部である。実際には、長期記憶にある情報と出力キュー内の情報は異なった形で符号化されているかもしれないが、以下の議論では、長期記憶や出力キュー内にある形の情報をもとめて「運動記憶」と呼び、実際の筋肉への指令は「運動命令」と呼び、両者を区別する。

さて、そのような情報がキュー内に保持されているとき、ある時刻に打鍵情報はどちらの出力キューから取り出されるのかということはどういうようにして決まるのだろうか。これにはいくつかの可能性があり、簡単に思いつく三つのモデルをまず考えてみよう。

- (i) キュー中に存在する各打鍵情報は引き続く打鍵の情報を保持している(図3-2(a))。
- (ii) 出力キューから打鍵情報を取り出す制御機構が、つぎの打鍵はどちらのキューから取り出すかを決定する情報を保持している(図3-2(b))。
- (iii) 打鍵を実行しない空命令を仮定する。この場合出力はつねに右左右左(または左右左右)の順に行なわれる(図3. 2(c))。

それぞれのモデルとも、「wne todnw」(went down) のようなエラーは、どちらかのキュー内の1打鍵情報が失われるか、

どちらかのキューにゴミが混入したか、さらには左右どちらのキューから情報を取り出すべきかを示した情報が一つ失われたり誤ったりしたときに生じると考えたと自然に解釈できる。

(i) のモデルでは、はじめの単語の第1打鍵や、エラーなどで処理が中断したのちのつぎの打鍵が右から始まるのか左から始まるのか定めることができない。また、2文字組の転置エラーを考えると、(i) のモデルを仮定したときには、ほとんどつねにナダレ現象が見られることになる。たとえば Shaffer(1975)によって報告されている window(window) という転置エラーを考えてみよう。window は出力キュー内に下のよう

$$\begin{matrix} w & R & & o & L \\ d & R & & n & L \\ & & & i & R \\ \text{Left } w & R & & i & R \text{ Right} \end{matrix}$$

この場合 n と d が転置するには (i, R) の i の次打鍵が左手であることを表す R が L に変わっていないなければならない。しかし、変わった情報がこれだけであるとすると出力は window となるはずである。それゆえ (n, L) のしも R に変わっていないなければならない。このように、(i) のモデルで2文字組の転置エラーを考えるには無理がある。

(i) のモデルの上記述べた欠点は (ii) または (iii) のモデルではみられない。たとえば、片手打鍵の2文字組の転置エラーは、同一キュー内の二つの情報の順序が入れ変わったと考えればよい。また、交互打鍵の2文字組の転置エラーは、(ii) のモデルでは、その2文字組を取り出す順を示している情報が入り変わったと考えるだけでよいし、(iii) のモデルでは、どちらかのキュー内にある、転置した2文字組の情報のある空命令が一つつぶれたか実行打鍵情報と転置したと仮定すればよい。それは、(ii) のモデルと (iii) のモデルではどちらが観察されている事実をよく反映しているだろうか。

一般に交互打鍵の2文字組は片手打鍵の2文字組よりも速く打てる (Fox & Stansfield, 1964; Kinkead, 1975; Terzuolo & Viviani, 1980; Gentner, 1983; Larochelle, 1983; Ostry, 1983)。また、交互打ちのみで打てるテキストのコピータイプ作業では、交互打鍵と片手打鍵が混じった普通のテキストに比べて、打鍵間時間の分布のパラツキがかなり小さい (Shaffer, 1978)。すなわち、交互打鍵のテキストは散文に比べて一定のリズムで打っていることになる。これらのことは、モデル (iii) において、空命令の実行にかかるの時間がかかると考えれば納得される。それに対して、(ii) のモデルでは、他にいくつかの仮定を設けない限り上の事実は説明しにくい。

このように (iii) の空命令を持つモデルは、知られているタイプ作業の特徴をよく反映しているように思われる。しかし、たしかに、交互打鍵は片手打鍵よりも平均では速いけれども、片手打鍵をさらに同じ指で2文字組を打つ場合 (1F) と、異なる指で2文字組を打つ場合 (2F) とに分けてみると、1F と2F の打鍵間時間のそれぞれの分布は交互打鍵のそれとほとんど同じ場合がある (Gentner, 1981; 1983)。さらに、1F や2F の2文字組でも、交互打鍵の打鍵間時間の平均よりかなり小さい打鍵間時間のものもある (Gentner, 1983)。これらのことは (iii) のモデルでは説明しにくい。

以上に見てきたように単純なモデルでは知られている現象をうまく説明できない。そこで、われわれのモデルをもっと精密なものにするために、タイプ動作に関して知られていることについて考察を行なう。

現在までタイプコンテストにおいての世界記録は1分間に216単語すなわち1080打鍵/分(1単語5文字として)である (McWhirter, 1981)。これは1秒間に平均して18打鍵で打鍵間時間は平均5.5 msec に相当する (Long, Nimmo-Smith, & Whitefield, 1983)。また、熟練したタイピストだときには打鍵間時間が2.5 msec 以下になることもあり、大脳の運動野から脊髄を通過して指まで運動命令が伝わる時間 (約60 msec) よりもこれはかなり短かい (Rumelhart & Norman, 1982; Norman & Rumelhart, 1983)。それゆえ、1打鍵が終わって応答信号が返ってからつぎの打鍵が実行されるということはありえない。また、現在行なっている打鍵のつぎの打鍵やさらにそのつぎの打鍵を実行するための指や手の動作は重なって行なわれる (Gentner, Grudin & Conway, 1980; Gentner, 1981)。これらのことは、出力キューから1打鍵の情報の取り出しがかなり速く行なわれることを示している。すなわち打鍵間時間が平均1.0 msec のタイピストでは、平均1.0 msec でキューから1打鍵の情報が取り出される。

ただし、手や指の動作の重なりは物理的な制約があるためつねに行なわれていないとは限らない (Gentner, Grudin, & Conway, 1980; Gentner, 1981)。すなわち、同じ指で連続して打鍵を行なうときには動作は逐次的となる。これが1Fの打鍵間時間が2Fや交互打鍵よりも一般に大きい原因となっている (Gentner, 1981; 1983)。そのため出力キューからの取り出しは、一定の周期で行なわれているというのではなく、その時点でその手や指の状態相とその時点以降に行なう打鍵列とに依存するのであろう。交互打鍵が続くときには打鍵間時間の自己相関係数が負になることから Shaffer(1978)は、一つの可能性としてランダムな遅延を供なったビートクロックが存在し、片手打鍵のときにはその周期がみだれたり失なわれたりすると考えている。しかし、クロックの発振がランダムな遅延を供な

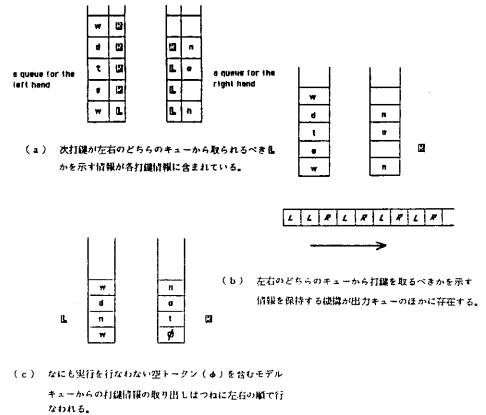


図3. 二つの出力キューの単純なモデル。

った一定の周期で行なわれると考えるよりも、クロックの発振は手や指の状態相や出力キュー内の情報に依存した形で行なわれ、物理的制約が少ない交互打鍵のパラツキが小さくなることと考えたほうが自然であろう。その理由としてはつぎのことが挙げられる。

すなわち、よく知られているように同じ2文字組でも文脈によって打鍵間時間が異なる (たとえば、Shaffer, 1978; Gentner, 1983)。とくに直前の打鍵と2打鍵前それと1打鍵後の影響が大きい (Gentner, 1982a; 1983)。また、直前の打鍵が同じ指のときには反対の手による打鍵よりもかなり打鍵間時間が大きいうえにその影響はつぎの打鍵にまで及ぶ。たとえば、win と kin の "in" の打鍵間時間は wi (交互打鍵) よりも ki (片手打鍵) のほうが遅く、kin における "in" の打鍵間時間は win のそれよりもかなり大きい (Shaffer, 1978)。このように2文字組の打鍵が文脈によって影響を受けることは、クロックの発振が文脈に依存することを示唆する。とくに2文字組の打鍵が右側の文脈にも影響される (Shaffer, 1978; Gentner, 1982a; 1983) ことは、キューからの情報の取り出しがキュー内の情報にも依存することを示唆している。Gentner(1982b)は、打鍵の計画と現在行なっている打鍵列によって打鍵の時刻はきまると言っている。

さらに、同じ指による打鍵が続いたのちに反対の手で打鍵が行なわれるときには、その反対の手の打鍵を実行するための指の動作は、その打鍵の前の片手打鍵の最後の打鍵の動作が始まる前にすでに始まっているときがあり、また、同じ手の異なる指による打鍵でも、打鍵動作の開始は打鍵順と同じであるとは限らない (Gentner, Grudin, & Conway, 1980)。このことは、出力キューからの情報の取り出しがかならずしも打鍵順に行なわれるのではなく、しかも情報の取り出しが逆転して行なわれた場合には実行部が各打鍵のための指や手の動作の速度を調整するか、または1打鍵あたりの情報に動作の速度を表す情報が含まれている必要があることを示唆している。

以上に述べたことを考慮に入れて、われわれのモデルでは、手や指さらにはその時の脳の時々刻々変化する状態の情報を保持し、また左右どちらのキューからどのような順で情報を取り出すかを決定する情報を保持する機構があると仮定する。キューからの情報の取り出しは実行部が行なうので、この機構も実行部とは独立に存在すると考え、実行部がその機構を参照しながら処理を行なうとしてもかまわない。いづれにしても実行部はこの機構が含む状態やキュー内の情報をもとに、左右どちらのキューから情報を取り出し、動作の速度情報も付加して個々の運動を行なうためにいくつかの筋肉を動かす運動命令を発する。

さて、熟練したタイピストだと、2文字組を頻度の高いものと低いもの2つに分けた場合、全体的には打鍵間時間はあまり違いはない (Fox & Stansfield, 1964)。しかし、最高頻度の片手打鍵の3文字組 "hin" はそれよりも頻度の低い交互打鍵の "hen" よりも速く打つタイピストも多いし、"er" や "hi" などの高頻度の2文字組は片手打ちの中でも打鍵間時間はかなり小さい (Gentner, 1983)。また、タイピストは "at" などの片手打鍵の2文字組を、手首の回転を利用して速く打つ (Grudin & Larochelle, 1982)。DSK でも "the" (Querty) の "kid" にあたる片手打鍵 "th" などとは、きわめて速いことが知られており、熟練者ではおそらく平均交互打鍵間時間の半分以下で打つ。"the" という3文字単語を打つ時間は通常の2文字組と同じぐらいであろう。さらに、タイピストによっては、"er", "re", "ion", "you" など目の片手打鍵列では、2番目の打鍵が行なわれるまで、1打鍵目はキー

ら離れない(Grudin & Larochelle, 1982)。これらのことは、最高頻度のいくつかの片手打鍵の2文字組は、1打鍵1打鍵それぞれ情報出力キューにあり、それらが、順に取り出されるというのではなく、時間的な情報も含んだ一つの打鍵情報となつてキューから取り出されしということを示唆している。hとiなどという最高頻度の片手打鍵の2文字組は複合運動を行うように協調された一つのまとまりであることを示唆する事実がある(Shaffer, 1982)ということ上の考えは一致する。

3. 3. 入力処理部

一般に、人間の情報処理システムにおいては、外界からの刺激を符号化した形で一時的に保持しておく記憶、すなわち短期記憶が存在していると考えられている(たとえば Klatzky, 1980)。タイプ作業においても、原稿からの視覚入力刺激を符号化した形で保持する短期記憶をモデルの中に導入することは自然である(Van Geffen, 1967; Thomas & Jones, 1970; Logan, 1983)。

さて、熟練したタイピストは平均して6~8文字の先読みを行っていることはさきに述べた。Butsch(1932)は、実際に打鍵を行なっている文字とそれのときの目の位置を同時に記録することによりタイピストの先読みの文字数を求めた。それによると、先読み文字数の平均はかなり個人差があり、タイプ速度の大きい者ほど先読み文字数は大きくなる傾向がみられた。また個人内でもかなりの変動があり、ときには3単語まで先読みしているときもあった。

また、Hershman & Hillix(1965)と、Shaffer(1973, 1976)はさまざまな型の「文」について先読みさせる文字数を制限し、被験者にタイプ作業を行なわせた。その結果、1文字から先読みさせる文字数を増やしたがつて約8文字までタイプ速度は上がり、Butsch(1932)と同様の結果が得られた。

ところで、タイピストは原稿を1文字ごとに認識しているのではなく、目がいわゆるサッカディック運動を行ないままと一つ一つの単位として1度に数字文字を含む文字列を取り入れる(Shaffer & Hardwick, 1968; 1970)。一般に固視の回数はタイプ作業の速い者ほど減少する傾向がある(Butsch, 1932)。また、Butschの実験では、固視の回数が最も少ない者でも1行(60文字)あたり平均1.5、3回であり、これは1サッカディック運動あたり平均3.6文字の視覚情報を取り入れることを意味している。Butschの実験の被験者うち50~100 w.p.m.のタイピスト全員の平均では1サッカディック運動あたり3.2文字がカバーされている。

これをさきほど述べた先読みの文字数と比べるとおもしろい。すなわち、視覚入力の取り込みは約3文字づつ行なわれるのに対して、先読み文字数はそれよりも大きく、さきに入力した文字はすでにつぎの処理に渡されていると考えられる。ただし、この場合さきに取り入れた文字列が短期記憶に残っており、新しい入力文字列はそれにつづき形で保持されることもあるであろう。すなわち視覚短期記憶は一つのキューと考えられる(Cooper, 1983)。

さて、打鍵間時間を測定した実験において、先読みの文字数とテキストの文の構造の間には交互作用が見られた(Hershman & Hillix, 1965; Shaffer, 1973)。また、散文・ランダムに並べられた単語列・ランダム文字列の三つのタイプ速度とエラー率は有意に差がある(Shaffer & Hardwick, 1968; 1969a; 1969b)。これらのことから Shaffer(1973)は読み込みのまとまりは文法的な構造に依存していると述べている。しかし、Butsch(1932)の実験結果を見ると目の走査は文法的なものとなら関係していないように見える。少なくとも単語から単語へと走査しているのではない(Cooper, 1983)。読み込みのまとまりが文法的構造を持っているというのではなく、おそらく走査するために文法的情報を用いているのであろう。Cooperらの実験によれば、通常の正字法にのった表記と音韻的表記の間に違いがある場合や、文字列中に黙音文字がある場合に速いタイピストほど打鍵間時間に影響が及ぼされる傾向がある(Cooper, 1983)。黙音文字は遅く打たれ、しかも打鍵間時間の変動が大きいことは、Shaffer(1973)と Terzuolo & Viviani(1980)によっても報告されている。このことは、視覚入力情報がある程度音韻的信息に変換されて、その音韻的信息が短期記憶に保持されることを示唆している(Cooper, 1983)。この考えを支持するものとしては、一般に母音は他の母音と混同されやすく(Wells, 1916; Grudin, 1983)、c.g.s.t.wの字音はそれぞれ混同しやすい傾向がある(Grudin, 1983)ということが挙げられる。

3. 4. 長期記憶と変換

個々の打鍵を行なうために、短期記憶に保持されたテキストの視覚情報を並列直列変換により直列情報に変えて出力キューに入れてやる必要がある。その変換のさいに、視覚情報をもとに運動の長期記憶から記憶の引き出しが行なわれる。この節では、この運動の長期記憶と変換処理について述べる。

エラー解析や打鍵間時間の測定などからタイプ動作の「単位」というものが考えられている。しかし、第3.1節と第3.2節で述べたように左右の手をそれぞれに出力キューがあると考えられるので、タイプ「動作」の単位というよりはむしろ運動「記憶」の単位と考えるべきであろう。それではこの運動記憶の単位はどのようなものであろうか。

Grudin(1983)によれば、Owen は、あるタイプの世界チャンピオンでは2文字組の転置エラーよりもむしろ単語の転置をしたと報告しているそうである。しかし、一般に、単語の順が入れ変わるタイプエラーはきわめてめづらしい(Shaffer, 1975; Grudin, 1983)。また、散文とランダムに並べられた単語列では、タイプ速度に差がないことも知られている(Hershman & Hillix, 1965; Shaffer & Hardwick, 1968; 1969a; 1969b)。これらのことは、記憶の単位が二つ以上の単語である可能性がきわめて小さいことを示している。

Terzuolo & Viviani は、かれらが行なった実験の結果をもとに運動記憶の単位は多くの場合単語であると結論している(Terzuolo & Viviani, 1980; Viviani & Terzuolo, 1982)。その理由としてかれらは、単語の一つ一つの文字の1文字目を打鍵してからの打鍵時刻はときによって変わるけれども、打鍵時刻のパターンは文脈によって変化せず、しかも一定の比で速く遅く遅くなったりするなどの実験結果を挙げている。

それに対して Gentner(1982a; 1982b; 1983)はやはりかれの実験にもとづき、つぎに示す理由により Terzuolo & Viviani の考えに対して反論している。

(a) 単語内の各2文字組の打鍵時間は一定の比率で変動しない。

(b) 単語の境界でも文脈の影響がある。

(c) 異なる単語でも左側2文字と右側1文字が同じなら打鍵間時間は同じである。

(d) たとえば bit と wit の「it」の打鍵間時間の差はbが左手ポトムローの人指し指で、tがトップローの左手人指し指であることを考えればよいように、文脈の影響は単語と無関係に考えることができる。

Logan(1982)は、第2節で述べた停止信号を与える実験で、タイピストは単語の途中で作業を中止することができるということから単語は運動記憶の単位ではないとしている。

Ostry(1983)も運動を構成する単位が単語であることを示す証拠はほとんどないという Gentner と同様の結論を述べている。また、のちに述べる Larochelle(1983)の1単語ごとに提示する実験の結果によれば、どの2文字組をとっても英語の正字法の規則を守っているように単語中の文字を並べ変えた疑単語では打鍵間時間に普通の単語との差はなかった。このことから考えても、一般に単語が記憶単位となっていると考えたことに無理がある。もちろん短くて最高頻度のいくつかの単語(たとえば the, in, at, and, on)はじゅうぶん一つの記憶単位となっている可能性がある(Grudin, 1983)。

Shaffer(1975)は、転置エラーの大部分はシラブル内で起こることからシラブルが一つのタイプ動作位置であるとしている。しかし Grudin(1983)は、かれの実験で見られた転置エラーの9.1%がシラブル内のものであったけれども、2文字組の8.7%が同一のシラブル内にあることからシラブルがタイプ動作単位である証拠にはならないとしている。事実、Shaffer & Hardwick(1968; 1969a; 1969b)の実験で、シラブルを並べ変えた文字列と散文のコピータイプ作業では、タイプ速度(打鍵間時間)に有意な差があるという結果がでている。すなわち、シラブルが記憶単位である可能性は少ない。

さて、Larochelle(1983)は1単語づつ被験者に提示して打鍵を行なわせる実験を行なうことによりつぎのことを見出している。すなわち、熟練タイピストではどの2文字組をとっても英語の正字法の規則にのっっているような疑単語と、普通の単語の第1打鍵の応答時間(遅延時間)と各打鍵間時間に差はなかった。また、エラー率についても両者の差はみられなかった。このことは、運動記憶が2文字組であるのか、少なくとも引き続く文字としては、前の文字に対して正字法の規則をまもっているものだけが運動記憶を取り出す候補となっていることを示唆する。第3.2節でもふれたように最高頻度の2文字組は他の2文字組に比べて速く打たれる傾向があることや2文字組の転置エラーが存在すること、さらに unprejudiced(unprejudiced)のように2文字組 ju が di と入れ変わった転置エラーも報告されている(Wells, 1916)ことを考え合わせると、一般に運動の記憶単位は2文字組と考えられる。ただし、このことは、第3.2節で述べた最高頻度の片手打鍵の2文字組が一つの運動単位となっているということを除いて、一般に運動の単位が2文字組であるということではない。というのは交互打鍵の2文字組を考えてみればわかるようにその2文字組の打鍵情報はそれぞれ別々のキューに入れられるからである。

記憶単位が2文字組であるという考えを支持することとしては、正字法に反する2文字組となるような鏡像エラーはほとんど生じない(Grudin, 1983)ということが挙げられる。(たとえば、単語中の“p”を“q”に変えたものは正字法に反するのので、このような混同はみられない。)

以上に見てきたとおり、シラブルや単語が運動記憶であるという考えには無理があり、タイプ作業における運動の記憶単位は一般には2文字組と考えられ、1文字ごとであるかもしれない。ただし頻出する文字以上の単語(the, andなど)は、まとめて打たれ、他の3文字単語よりも速く打たれることが知られている(Shaffer, 1973)ので、これらは運動記憶の1つの単位となっている可能性も忘れてはならない。

記憶単位が2文字組であるとしても1文字ごととしてもさきに述べたLarochelleの実験結果から考えればつぎのことが示唆される。すなわち、ある記憶単位に引き続く文字が正字法の規則を破るときに運動記憶を引き出すことが遅れる。これは、運動記憶を引き出すときにはさきに取り出されたものがつぎの単位として正字法にのっっているものだけを活性化し取り出しやすい形にしていると考えられている。Grudin(1983)によれば、鏡像エラーでは出現頻度の低い文字を高い文字に混同することのほうがその逆の場合よりも有意に多い。たとえば鏡像の関係にあるdとkでは、dをkと打ちまちがえることよりもkをdと打ちまちがえることのほうが多い。このことは、 αd または $d\alpha$ (α は任意のローマ字)という2文字組のほうが βk または $k\beta$ (β は任意のローマ字)という2文字組よりも頻出するために、dのほうがkよりも記憶中で活性化される割合が高く誤って記憶が引き出される確率が高いと納得できる。また、隣接するキーを打つ代入エラーでも高頻度の文字ほど打たれやすい傾向があり(Grudin, 1983)、このことから同じことが言えるであろう。

以上述べてきたことをまとめよう。一般に運動記憶は2文字組が単位と考えられ、視覚短期記憶内にある情報をもとに2文字組ごとに出力キューに入れられる。ただし、頻出する3文字組や単語なども運動記憶でありうるし、1文字ごとに交換されることもあるかもしれない。長期記憶から運動記憶を引き出すときには、引き続き記憶単位として正字法にのっっているものがいくつか活性化され、実際に視覚短期記憶中にある情報と一致するものが取り出されてこれが出力キューに入れられる。

3. 5. エラー検出

タイプ出力の結果やキーボードをタイピストに見せないときには、それらを見ることを許している通常の作業のときに比べて、エラーの検出率が落ちる(Long, 1976; Rabbitt, 1978)。しかし、出力結果やキーボードを見せない状態でもタイピストは運動感覚的に50~70%のエラーを検出できる(Shaffer, 1969a; 1976; Rabbitt, 1978)。また初心者よりも熟練者のほうがエラー検出率が高いことも知られている(Shaffer, 1969a)。以下の議論では、運動感覚的に捕えられたタイプエラーのみを対象とし、出力結果を見て検出したエラーについては考えないこととする。

エラーが検出されるとき、エラーを犯したときすぐに打鍵作業をやめ、3文字以上を打つことはめったになく、しかもほとんどの場合エラー打鍵の直後にエラーを検出し、打鍵を止める(Long, 1976; Rabbitt, 1978)。さらに、エラー打鍵の応答は通常の打鍵の応答に比べて一般に遅い。すなわち、エラー打鍵とその直前の打鍵の打鍵間時間は平常のそれに比べて大きい(Shaffer, 1975)。また、エラー打鍵は通常の打鍵よりも弱く打たれる傾向がある(Rabbitt, 1978)。

これらのことは、エラー打鍵が実際に実行される以前にタイピストはエラーを検出していることを示唆している(Shaffer, 1975; Rabbitt, 1978; Logan, 1983)。もちろん、エラー打鍵後数打鍵を実行してからエラーが検出されることもあるので、いつも実行前にエラーが検出されるというわけではない。

情報処理過程のどの段階でエラーが起きたかによって変わってくるけれども、実行以前にエラーが検出されるということは、引き続き処理段階の間の情報の転送中にエラー検出(さらにはエラー訂正)の情報が打鍵のための情報以外にも含まれていることを示唆している。たとえば、前節で述べた運動記憶そのものにエラー検出のための情報が含まれていると考えることもできる。また、長期記憶から出力キューへと情報を送るときに、エラー検出の情報を付加したのちに転送すると考えることもできる。このような付加情報があるとするれば、実行前に種々の段階の処理でエラー検出が可能となる。ただし、エラー打鍵の数打鍵前の応答が遅くなる現象は見られないので、エラー検出は、出力キューから情報が取り出されてから指が動き始めて打鍵が始まるまでの間にけなされると思われる。実際、前にも述べたように、平均打鍵間時間が124 msecのタイピストでは、指が動き始めてから打鍵が終るまでの平均時間が261 msecである(Gentner, Grudin, & Conway, 1980)ということから、エラーが起こる打鍵の1打鍵間時間より以前にエラー検出を行なうことさえあり、エラー打鍵を行なう指の動きが始まったときと、打鍵が終わったときのいかなる間でもエラー検出は可能であるとLogan(1983)は推測している。

また、検出されないエラーも存在するということが、この種のエラーが検出されるものとは異なった段階の処理で起きるということを示唆している。

さらに、エラー打鍵を実際に実行してから検出されるエラーもあるであろう。このエラーの検出は、感覚器から求心性の神経を通じて脳にもどってくる情報をもとに、大脳の体性感野で行なわれるのであろう(Rabbitt, 1978)。情報は、その出力が実行されたのちでもどこかに保持されなければならず、この保持されている情報と感覚器からの情報との比較が行なわれなければならない。Shaffer(1973)は出力情報は内部で保持されている情報のコピーではないかと言っている。われわれのモデルでは、出力情報を保持するところがあり、そこでは感覚器からの情報との比較が行なわれるまでその情報は保持されると仮定する。

4. バイブラインモデルの全体像

第3節で視覚入力からタイプ出力がなされるまでの処理過程を各段階ごとに詳しく述べた。この節では、われわれのモデルの全体像を示すとともに、各処理部の処理の単位と各部分間の同期について述べる。

われわれのモデルでは、まずテキストからの視覚入力を受け取り、視覚短期記憶に情報を保持する。ついで、その保持された情報は、変換処理部により運動の長期記憶を参照して運動記憶に変換されて、左右の手の出力キューに入れられる。この出力キューから情報を取り出し、実際に手や指を動かす筋肉への指令(運動命令)に変換してその命令を発する実行部によってタイプ出力は行なわれる(図4.1)。さらに細かいことを言えば、視覚入力を視覚刺激として保持するアイコニック記憶が視覚短期記憶の前段階に存在しているであろう(Klatzky, 1980)。このアイコニック記憶から視覚短期記憶への情報の伝達は、言語的知識を参照することによって行なわれる(Van Geffern, 1967; Thomas & Jones, 1970)。

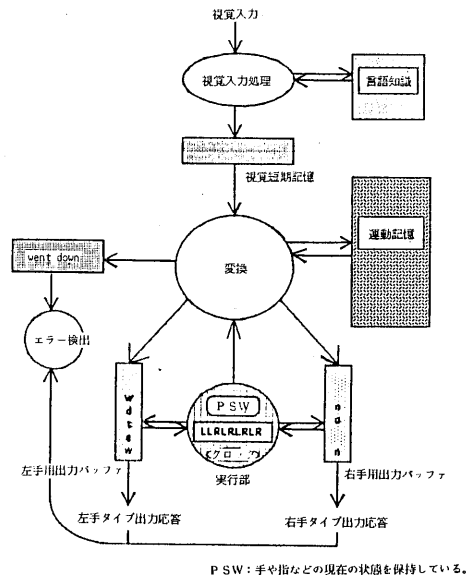


図4.1. タイプ作業中の情報処理のバイブラインモデル

さて、図4.1の各段階における処理は、時間的に重ね合わせて進められると考えられる(Hershman & Hillix, 1965; Van Geffern, 1967; Shaffer & Hardwick, 1970; Thomas & Jones, 1970; Shaffer, 1975; Logan, 1983)。つまり、各処理過程が一つのバイブライン処理の1段階となっているのである。コピータイプ作業では、視覚刺激として取り入れた情報からまず指の運動の系列の予定が組み立てられるが、しかし、それにもとずいて応答が実行されているときには、眼からの入力刺激はすでに指の運動の系列の組み立てに使われているのである。すなわち、入力された文字がボタンが処理される過程では、一時一つのボタン処理がされてからつぎのボタンの処理へと移行するのではない。タイプ作業中の連続した先読みが示すように、ある文字ボタンのタイプ選指が実行されているのと同時に、そのつぎにタイプされる文字ボタンの読み込みやさらには運動記憶の引き出しが実行されている。つまり、図4.1のすべて

の過程の中では、文字バタンの列が連続して流れ、異なる過程での処理がパイプライン処理のような並行して行なわれているのである。

このパイプライン処理過程の各段階での処理単位は第3節でおのおのについて述べた通りである。ここでは全体の情報の流れを考えたときにまとめるつぎのようになる。すなわち、視覚入力刺激として取り入れられる情報は平均3~4文字であり、これは一般的にはなんの言語的構造も持たない単位である。この文字列が視覚短期記憶に保持されたときには、まだ、その直前に取り入れられた文字列情報が残っている可能性もある。この視覚入力からの取り込みを行なうと同時に、さきに入力された視覚短期記憶にある文字列情報を長期記憶をもとに運動の記憶へと変換し、出力キューへ情報を入れる処理が行なわれている。これは多くの場合2文字組を単位として変換されると考えられる。さらにまた、この変換と視覚入力からの取り込み、出力キューからの運動記憶の取り出しが行なわれて運動命令へと変換されて実際の指の動作が起こるのである。

いま、打鍵間時間が平均100 msecのタイピストを考えてみよう。すなわち、出力キューからの情報の取り出しが100 msecであるとする。取り出しが平均100 msecかかるということは、出力キューへの入力も平均すれば1打鍵情報あたり100 msecであり、視覚入力情報を運動記憶に変換する時間が1打鍵あたり100 msecであることを意味する。

しかし、この変換の時間が平均100 msecであるということは、あくまでも平均であり、実際に変換が行なわれているときの1打鍵情報を変換する速度はこれよりもかなり速い。このことは、Larochelle(1983)の実験において、提示した単語の文字列長が1だけ増えても、遅延時間が約10~15 msecだけ増えるにすぎないことから推測される。すなわち、出力キューにある情報が、ある程度以下になったとき、視覚入力情報を運動記憶に比較的短時間でまとめて変換が行なわれ、出力キューに情報が入れられるのである。

このような処理を通じて1文字が入力されて短期記憶に保持されたときから出力されるまでには、タイプ速度の異なるどのようなタイピストでも平均して約1秒かかる(Butsch, 1932)。Logan(1983)はこの目手スパンの文字を打つ時間が約1秒であるということ、視覚短期記憶に保持された情報が出力キューに入れられるまでの変換にかかる時間だとしている。さらにLogan(1983)は、タイピストが熟練するにつれて目手スパンが大きくなることを、変換処理の速度と比べて相対的に実行速度(出力キューから情報を取り出す速度)が大きくなるからだとしている。しかし、この考えは、Logan自身が認めているように、熟練していくタイピストはいつか1打鍵あたりの実行速度がその変換速度を越え、熟練した者ほど作業がとぎれとぎれになるという、事実とはムジユンした結果となる。それゆえ、われわれのモデルでは、なめらかな作業状態が続いているときには、出力キューがからになることはなく、変換速度は実行速度よりも速いと仮定する。

いっぽう、視覚短期記憶内の情報が変換される速度が実行速度よりも速いことを考えれば、視覚短期記憶中にはつねに情報が存在する必要はないと考えられる。

5. まとめ

コピータイプ作業中の情報処理過程について、一つのモデルを構築した。このモデルはパイプラインモデルと呼ばれ、いくつもの処理段階から成り立つ。各段階の処理は、時間的に重ね合わさって行なわれる。とくに、われわれのモデルでは、出力キューが左右の手それぞれに存在するということが特徴となっている(図4.1)。また、このモデルによれば、多くのタイプエラーを自然に解釈できる。

もちろん、ここで提示したモデルは完全なものではない。細部が定性的にしか定められておらず、特定の2文字組の打鍵間時間の分布がどのようなかといったことは予測できない。また、ここで述べてきた事柄だけでは、RumelhartとNorman(1982)のようにシミュレーションを行なってみるということもできない。さらにわれわれのモデルでは簡単に説明できないタイプエラーもある。これらはいずれも今後の課題である。

さて、われわれは第3.4節で一般的には2文字組が長期記憶からの運動記憶を引き出すときの単位であるという結論に達した。そこでこの議論はおもにLarochelle(1983)の1単語ずつ提示する実験にもつくものであった。ここで一つ興味あることは、どの2文字組をとっても正字法の規則を保存するような「疑単語」をテキストとした連続的タイプ作業実験である。われわれの結論が正しいものであれば、そのタイプ速度は散文のタイプ速度とそれほど変わらないはずである。ただしここで注意しなければならない点がある。それは、(1) the や and といった一つの運動記憶となつていて考えられる単語は散文のテキストから除かなければならない(2)運動記憶を引き出す速度は変わりがなくとも、テキストを「読む」速さが違ふ可能性があり、その違いがタイプ速度に影響を及ぼすことがある(Shaffer, 1973; Gentner, 1982b; Grudin & Larochelle, 1982)、ということである。

さらにわれわれのモデルから予測されることとしては、最高頻度の片手打鍵の2文字組(DSKにおけるthなどは)、Logan(1982)が行なったように停止信号をタイピストに与えても、おそらく間で作業を止めることはないということがある。すなわち、第3.4節で述べたようにこれらの2文字組は一つの運動記憶として出力キューに入れられている可能性が考えられる。このことは、最高頻度の2文字組だけでなく、the や and といった最高頻度を持つ単語にもあてはまるかもしれない。

また、われわれのモデルでは、RumelhartとNorman(1982)がシミュレーションの結果見出した vitamins→iutmaisn といった1文字おきの三つの転置エラーが起こることはほとんどありえないことになる。

ここで議論は、おもにタイプ作業実験の結果にもとづいたものであって、脳科学の知見からの考察はほとんど行なわなかった。われわれは、今後脳科学の成果をもとに、本論文で提示したタイプ作業中の処理過程のパイプラインモデルについて、いっそうの肉づけを行なっていきたいと思っている。

文献

- Butsch, R. L. C. (1932) Eye movements and the eye-hand span in typewriting. *Journal of Educational Psychology*, 23:104-121.
- Cooper, W. E. (1983) Introduction, pp.1-38 in: *Cognitive Aspects of Skilled Typewriting*, ed. W. E. Cooper, New York: Springer-Verlag.
- Duorak, A., Merrick, N. L., Dealy, W. L., and Ford, G. C. (1936) *Typewriting behavior*. New York: American Book Company.
- Fox, J. G., and Stansfield, R. G. (1964) Digram keying times for typists. *Ergonomics*, 7:317-320.
- Gentner, D. R. (1981) *Skilled finger movements in typing (Technical Report 104)*. La Jolla, California: University of California at San Diego, Center for Human Information Processing.
- Gentner, D. R. (1982a) Evidence against a central control model of timing in typewriting. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 8(6):793-810.
- Gentner, D. R. (1982b) Testing the central control model of typing: comments on the reply by Viviani and Terzuolo. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 8(6):814-816.
- Gentner, D. R. (1983) Keystroke timing in transcription typing. pp. 95-120 in: *Cognitive Aspects of Skilled Typewriting*, ed. W. E. Cooper, New York: Springer-Verlag.
- Gentner, D. R., Grudin, J., and Conway, E. (1980) *Finger movements in transcription typing (Technical Report 8001)*. La Jolla, California: University of California at San Diego, Center for Human Information Processing.
- Gentner, D. R., Grudin, J. T., Larocheille, S., Norman, D. A., and Rumelhart, D. E. (1983) A glossary of terms including a classification of typing errors. pp. 39-43 in: *Cognitive Aspects of Skilled Typewriting*, ed. W. E. Cooper, New York: Springer-Verlag.
- Grudin, J. T. (1982) *Central control of timing in skilled typing (Technical Report 8202)*. La Jolla, California: University of California at San Diego, center for Human Information Processing.
- Grudin, J. T. (1983) Error patterns in novice and skilled transcription typing. pp. 121-144 in: *Cognitive Aspects of Skilled Typewriting*, ed. W. E. Cooper, New York: Springer-Verlag.
- Grudin, J. T., and Larocheille, S. (1982) Digraph frequency effects in skilled typing (Technical Report 110). La Jolla, California: University of California at San Diego, Center for Human Information Processing.
- Hershman, R. L., and Hillix, W. A. (1965) Data processing in typing: typing rate as function of kind of material and amount exposed. *Human Factors*, 7:438-492.
- Hiraga, Y., Ono, Y., and Yamada, H. (1980) An assignment of key-codes for a Japanese character keyboard. *Proceedings of 8-th International Conference on Computational Linguistics*, pp.249-256.
- Kinkead, R. (1975) Typing speed, keying rates, and optimal keyboard layouts. *Proceedings of the Human Factors Society 19th Annual Meeting*, pp. 159-161.
- Klatzky, R. L. (1980) *Human memory: structures and processes (2nd ed.)* San Francisco and London: W. H. Freeman and Company.
- Larocheille, S. (1983) A comparison of skilled and novice performance in discontinuous typing. pp. 67-94 in: *Cognitive Aspects of Skilled Typewriting*, ed. W. E. Cooper, New York: Springer-Verlag.
- Lashley, K. S. (1951) The problem of serial order in behavior. pp. 112-146 in: *Cerebral Mechanisms in Behavior*, ed. L. A. Jeffress, New York: Wiley.
- Logan, G. D. (1982) On the ability to inhibit complex movements: a stop-signal study of typewriting. *Journal of Experimental Psychology*, 8: 778-792.
- Logan, G. D. (1983) Times, information, and the various spans in typewriting. pp. 197-224 in: *Cognitive Aspects of Skilled Typewriting*, ed. W. E. Cooper, New York: Springer-Verlag.
- Long, J. (1976) Visual feedback and skilled keying: differential effects of masking the printed copy and the keyboard. *Ergonomics*, 19(1):93-110.
- Long, J., Nimmo-Smith, I., and Whitefield, A. (1983) Skilled typing: a characterization based on the distribution of times between responses. pp. 145-195 in: *Cognitive Aspects of Skilled Typewriting*, New York: Springer-Verlag.
- McWhirter, N. (Ed.) (1981) *Guinness book of records*. Enfield, London: Guinness Superlatives.
- Munhall, K. G., and Ostry, D. J. (1983) Mirror-image movements in typing. pp. 247-257 in: *Cognitive Aspects of Skilled Typewriting*, ed., W. E. Cooper, New York: Springer-Verlag.
- Norman, D. A., and Rumelhart, D. E. (1983) Studies of typing from the LNR research group. pp. 45-65 in: *Cognitive Aspects of Skilled Typewriting*, ed. W. E. Cooper, New York: Springer-Verlag.
- Ostry, D. J. (1983) Determinants of interkey times in typing. pp. 225-246 in: *Cognitive Aspects of Skilled Typewriting*, ed. W. E. Cooper, New York: Springer-Verlag.
- Rabbitt, P. (1978) Detection of errors by skilled typists. *Ergonomics*, 21(11):945-958.
- Rumelhart, D. E., and Norman, D. A. (1982) Simulating a skilled typist: a study of skilled cognitive-motor performance. *Cognitive Science*, 6:1-36.
- Shaffer, L. H. (1973) Latency mechanisms in transcription. pp. 435-446 in: *Attention and Performance IV*, ed. S. Kornblum, New York: Academic Press.
- Shaffer, L. H. (1975) Control process in typing. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 27:419-432.
- Shaffer, L. H. (1976) Intention and performance. *Psychological Review*, 83(5):375-393.
- Shaffer, L. H. (1978) Timing in the motor programming of typing. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 30:333-345.
- Shaffer, L. H. (1982) Rhythm and timing in skill. *Psychological Review*, 89(2):109-122.
- Shaffer, L. H., and Hardwick, J. (1968) Typing performance as a function of text. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 20:360-369.
- Shaffer, L. H., and Hardwick, J. (1969a) Errors and error detection in typing. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 21:209-213.
- Shaffer, L. H., and Hardwick, J. (1969b) Reading and typing. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 21:381-383.
- Shaffer, L. H., and Hardwick, J. (1970) The basis of transcription skill. *Journal of Experimental Psychology*, 84(3):424-440.
- Terzuolo, C. A., and Viviani, P. (1980) Determinants and characteristics of motor patterns used for typing. *Neuroscience*, 5:1085-1103.
- Thomas, E. A. C., and Jones, R. G. (1970) A model for subjective grouping in typewriting. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 22:353-367.
- Van Geffen, L. M. H. J. (1967) A review of keyboarding skills. *Advances in computer typesetting -- Proceedings of the 1966 International Computer Typesetting Conference*, pp. 2-11, England.
- Viviani, P., and Terzuolo, C. A. (1982) On the relation between word-specific patterns and the central control model of typing: a reply to Gentner. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 8(6):811-813.
- Wells, F. L. (1916) On the psychomotor mechanisms of typewriting. *American Journal of Psychology*, 27:47-70.
- Yamada, H. (1980) A historical study of typewriters and typing methods: from the position of planning Japanese parallels. *Journal of Information Processing*, 2:175-202.
- Yamada, H. (1983) Certain problems associated with the design of input keyboards for Japanese writing. pp. 305-407 in: *Cognitive Aspects of Skilled Typewriting*, ed. W. E. Cooper, New York: Springer-Verlag.