ひらがな日本語コマンドシステムに関する実験的考察*

—動詞の位置がパフォーマンスに及ぼす影響と

日本語コマンドと英語コマンドの比較—

児玉公信**

Kodama¹⁴⁾ reported on the effects of meaningfulness of a command name on the learning command language and its performance. This paper discusses the importance of the position of the verb in a command string, and the advantages of the mother language over an English-like command language.

A personal computer game was created in which a command language controls a robot. Two command sets were prepared for the experiment ; prefix notation command set E is in Japanese and has verbs on top of each command string, and command set F in English version of E. Ten Japanese novices played the game repeatedly, and the game program recorded their typing data throughout the game.

As for the results, the mean leading time needed to start inputting a command string (latency) was significantly shorter for prefix notation command set E and command set F than for postfix notation command set A, which was discussed in Kodama¹⁴⁾. The processing time for E and F was also much shorter than for A, and there was not a significant difference between sets E and F. Although in terms of typing rate set F (alphabet) was significantly faster than set E (hiragana-characters), in terms of the mean time needed to input a command string (duration) there was also not a significant difference between sets E and F.

児玉¹⁴⁾は、コマンドの習得および処理効率に及ぼすコマンド名の有意味度の影響について報告した。本報では、コマンド文字列内の動詞の位置がコマンドの習得および処理効率に及ぼす影響と、日本語の有効性を検討するために英語のコマンドとの比較を行った。

ロボットをコマンドで操作するパソコンゲームをつくり、コマンド名がコマンド文字列の先頭に位置する構文（前置形）のコマンドセットEを、また、これと同意の英語のコマンドセットFを用意した。これらをノービスユーザに与えて繰り返し解かせ、この過程で発生するタイピング情報を記録した。その結果、コマンドを入力するまでの平均リード時間（潜時）は、後置形コマンドセットA¹⁴⁾と比較してセットE、Fのほうが有意に短く、処理時間も短かった。英字はかなに比べてキーイング時間が有意に速いが、コマンド文字列全体の入力時間では、セットE、F間に有意な差はなかった。

（キーワード：コマンド、ノービス、パフォーマンス、構文、日本語）

* 平成3年12月3日受付

** 日石情報システム(株) (現(株)エヌ・ケー・エクス)
Nippon Oil Information Systems Co. Ltd.
(Present Address : NK-EXA Co. Ltd.)

1. はじめに

コンピュータの応用領域の拡大につれて、その利用者の裾野も拡大しつつある。80年代には米国を中心に、人とコンピュータとの対話方式についての研究が数多くなされてきた¹⁾。

利用者がコンピュータと対話する方式には、今のところ大きく分けて、コマンド言語とよぶ一種の人工言語を媒介とするもの（コマンド入力方式）と、機能のリストを提示し、そのなかから希望の機能を選択指示したり、必要な欄に値を記入するもの（メニュー選択方式）がある。

本報で取り上げるコマンド入力方式については、機能設計、命名法、構文設計、省略法、構文表記などの面から研究されてきた²⁻¹³⁾。

日本では、コンピュータ処理における日本語の扱いにくさや、タイプライタ使用の習慣が未成熟であるなどの要因から、ノービス (novice) 向けにはコマンド入力方式が採用されることは少ない。元来、コンピュータ利用は欧米文化のなかで発展してきたものといえるが、コンピュータ利用が一般的になった現在、そのヒューマンインタフェースはそれぞれの民族的文化に適合させ、よりなじみやすくしていく必要がある。日本においては、漢字の入力や日本語の独自性に配慮したヒューマンインタフェース、利用者の拡大に応じた初期学習のしやすさ（とりつきやすさ）などの実現が課題であると考ええる。

このような観点に立って、児玉¹⁴⁾は、ひらがなによる日本語コマンドを提案し、コマンド名の有意味度がノービスユーザのパフォーマンスに及ぼす影響について実験的に検討した。すなわち、コマンド名の有意味度が異なるひらがなの日本語コマンドセットを4つ用意し、これらを異なる被験者に与えてゲームを行わせ、平均“潜時”が試行の繰り返しによりどう変化するかを観測した（潜時の定義は後述）。

その結果、有意味綴りのコマンドセットの平均潜時は、無意味綴りのそれよりも有意に短かった。このことから、コマンド名は、その機能と意味的によく対応していることが、コマンド文の構成に要する時間が短く、パフォーマンスの向上およびコマンド使用上の誤りを減らすために有効であると結論した。

コマンド文は一般に、動詞に相当する1つのコマンド名と、目的語や補語に相当する0個以上のオペランド部から成り、命令形をしている。以下にその例を示す。

コマンド文の例

TYPE	CONFIG. SYS
コマンド名	オペランド部
動詞	目的語、補語

本報では、ひらがな日本語コマンド文において、構文として、コマンド名が文の先頭に置かれるか末尾に置かれるかが、ノービスのコマンドシステムの初期学習過程およびパフォーマンスに対し、どのような影響を及ぼすかについて観測する。さらに、同意の英語のコマンドセットを用意し、両者を比較して日本語コマンドの有効性について検討を加える。

(1) コマンド名の位置の影響

英語のコマンド文ではコマンド名は命令形として文の先頭にくる。日本語のコマンド文では、コマンド名が最後にきて命令形とするのが自然であろう。このようなコマンド名の文中の位置の影響については、Cherry¹⁵⁾が次のような実験を行っている。すなわち、エキスパートおよびノービスを被験者として、動詞がコマンド文の先頭にくる構文 (prefix notation, 前置形) のコマンドセットと、最後にくる構文 (postfix notation, 後置形) のコマンドセットを与え、テキスト編集課題を処理させた。この処理の経過を、課題の達成率、誤りコマンドの割合、および編集の効率の3つの指標について測定し比較したところ、ともに動詞の位置による有意な影響はみられなかった。

しかし、Cherryの実験は英単語の語順を換えただけであり、後置形が言語として自然であったのかという点では疑問が残る。とはいえ、日本語コマンドを用いて動詞の位置の影響について検討する価値はあると考える。

(2) 英語コマンドと日本語コマンド

現在は、オペレーティングシステム (OS) のシェルのコマンドはもとより、会話型の業務システムのコマンドとしても、英語様のものが採用される場合が多い。このような英語様のコマンドとキーボード操作が、入門者にとってコンピュータを近寄りやすいものとさせている要因のひとつと考えられなくもないが、それでは、そのコマンドが日本語であれば受け入れられやすいのか、そしてキー入力時間も含めた全体の対話効率も有利となるのか、今のところ明らかでない。これについても実験的に考察する必要がある。

2. 実験

本実験は、動詞を先頭においた（前置形）構文のひらがな日本語コマンドセット (E) と、これと同等の英語のコマンドセット (F) を用意し、これらをそれぞれ

図1 ゲーム中のモニタ画面の例。実際はカラー表示。画面右半分の人型がロボット、□が廃棄物、■が収納容器のシンボル

Fig.1 A sample image at playing the game.

異なるノービスの被験者に与えて同一の実験課題を課し、この解決過程を観測することによって、コマンド名の文中における位置が及ぼすノービスのパフォーマンスに対する影響について考察する。後置形の日本語コマンドセット(A)の実験データは前報のものを使う。前報¹⁴⁾と本実験の実施時期はほぼ同一(1カ月以内)であり、これらの被験者は同一の母集団に属すると考えた。

2-1. 方法

(1) 課題

課題は、Carroll⁴⁾を参考にした、原子力発電所の危険区域において、ロボットをコマンドにより遠隔操作して、核廃棄物を容器に収納させるというパソコンゲームである。

図1に示すように、パソコンのモニタ画面の右半分にはその危険区域を上から見た図が表示される。図のなかにはロボットと、廃棄物と容器になぞらえた白と黒の小さな正方形が1つずつ配置される。被験者は、このロボットをコマンドにより前後左右に移動させたり、腕を伸縮させたり手を開閉させることにより、廃棄物を拾い上げ、容器に納めることができる。この間のロボットの動きは画面上にリアルタイムで表示される。モニタの左半分はコマンドの入力とコマンドシステムからの応答の領域で、過去のやりとりが24行までスクロールアップしながら表示される。

廃棄物を拾って容器に納めるまでが1試行で、これを最大10試行繰り返す。廃棄物および容器の空間配置は、試行ごとに変えられる。

(2) 材料および装置

日本語コマンドセットEと、英語のコマンドセットFの2つを用意した(以降、特定のコマンドセットを

指すときは単にセットxという)。これらおよびセットAを表1に示す。セットEは、セットAのコマンド名の位置を先頭に置き換えただけのものである。セットFは、セットEと同一の構文であるが、コマンド名およびオペランドの単語がそれぞれ対応した英語となっている。すべてのコマンドセットとも、コマンド名の短縮形(abbreviation)として先頭2文字を、オペランドの短縮形としてその単語の先頭1文字を用いることができる。たとえば、ロボットに100ステップ前進させるためのコマンドは次のようになる。

・短縮/省略をしない例

セットE: すすめ まえに 100

セットF: GO AHEAD 100

セットA: まえに 100 すすめ

・短縮/省略をした例

セットE: すす 100

セットF: GO 100

セットA: 100 すす

被験者は、この構文規則に従ってコマンド文を組み立て、キーボードより入力する。1行1コマンド文で、単語間は空白文字で区切り、最後に改行キーを押すことで入力が完了する。各コマンドセットについては、ゲームとコマンドの説明、構文、記述例およびコマンド一覧表からなる比較的詳細な小冊子(以下、マニュアルという)を被験者1人ひとりに提供した。

装置は日立製作所製のワークステーションH2020を使い、キー入力、コマンドシステムからの応答など、ゲームの過程で発生する事象を5msec単位で記録(ログとよぶ)するようにした。コマンドの構文解析および実行部分はBASICで、事象発生時刻を記録する部分と、アニメーション処理部分は機械語でプログラムした。なお、H2020のキーボードの配列はJIS、キートップはひらがなである。実験に先立ち、あらかじめ“かなシフト”状態にしておき、数字はテンキーを使わせることによって、被験者はキーのシフト操作を行わないようにした。

(3) 被験者

北海道大学教養部の学生から日本語を母国語とするノービスユーザ10名を募り、2つのコマンドセットグループに5名ずつランダムに振り分けた。このなかでかなのキー配列についてあらかじめ知っている者はなかった。アルファベットのキー配列についてはタイプライタに触ったことがあるという程度の者が1名、日本語コマンドセットEグループにいた。

(4) 手続き

与えられたコマンドセットを使ってゲームを行う。試行間に休憩は挿入しない。

表1 コマンドセットの処理機能とコマンド名および構文

Tab. 1 The functions and command syntax of command-sets.

処 理 機 能	コ マ ン ド セ ッ ト		
	A	E	F
持っている廃棄物を容器に合わせる	[ようきに] あわせろ	あわせろ [ようきに]	ADJUST [CONTAINER]
n前進/後退する	{ <u>まえ</u> に } [n] うこ`け うしろに	うこ`け { <u>まえ</u> に } [n] うしろに	MOVE { <u>FORWARD</u> <u>BACKWARD</u> } [n]
屈む	かか`め	かか`め	STOOP
直前コマンドを繰り返す	くりかえせ	くりかえせ	AGAIN
廃棄物/容器が届く範囲にあるか確認する	{はいきふ`つお } さか`せ ようきお	さか`せ {はいきふ`つお } ようきお	SEARCH { <u>DISPOSAL</u> <u>CONTAINER</u> }
n前進 or n ₁ 前進後左/右にn ₂ 前進する	[<u>まえ</u> に] { ^[n] _{n₁} { <u>みき`</u> に } n <sub>2</sub> } すめ ひた`りに	すめ [<u>まえ</u> に] { ^[n] _{n₁} { <u>みき`</u> に } n <sub>2</sub> } ひた`りに	GO [<u>AHEAD</u>] { ^[n] _{n₁} { <u>RIGHT</u> <u>LEFT</u> } n ₂ }
左右にnずれる	{ <u>みき`</u> に } [n] す`れろ ひた`りに	す`れろ { <u>みき`</u> に } [n] ひた`りに	SLIDE [TO] { <u>RIGHT</u> <u>LEFT</u> } [n]
屈む	すわれ	すわれ	SIT
腕を伸ばす	[うて`お] た`せ	た`せ [うて`お]	REACH [ARM]
立ち上がる	たて	たて	UP
腕を縮める	[うて`お] ちち`めろ	ちち`めろ [うて`お]	DRAW [<u>ARM</u>]
手を握る	[てお] とし`ろ	とし`ろ [てお]	SHUT [<u>HAND</u>]
手を握る	[てお] にき`れ	にき`れ [てお]	CLOSE [<u>HAND</u>]
腕を伸ばす	[うて`お] のは`せ	のは`せ [うて`お]	EXTEND [<u>ARM</u>]
前方の障害物までの距離をはかる	[きよりお] はかれ	はかれ [きよりお]	MEASURE [<u>DISTANCE</u>]
試行を始める	はし`め	はし`め	BEGIN
腕を縮める	[うて`お] ひけ	ひけ [うて`お]	PULL [<u>ARM</u>]
手を開く	[てお] ひらけ	ひらけ [てお]	OPEN [<u>HAND</u>]
左/右/後ろを向く	{ <u>みき`</u> お } { <u>ひた`</u> りお } むけ { <u>うしろ</u> お }	むけ { <u>みき`</u> お } { <u>ひた`</u> りお } { <u>うしろ</u> お }	TURN [TO] { <u>RIGHT</u> <u>LEFT</u> <u>AROUND</u> }
n後退する	[うしろに] [n] もと`れ	もと`れ [うしろに] [n]	BACK [n]

注 1) nは移動量を示す。

2) { } で囲まれた単語のうち1つを選択する。

3) [] で囲まれた単語は省略することができる。

4) 下線部分だけを用いて、省略形 (abbreviation) とすることができる。

5) 格助詞 'を' は、キーシフト操作を行わないように 'お' で代用した。

6) コマンドセットAおよびEで、'かがめ' と 'すわれ'、'だせ' と 'のばせ'、'とじろ' と 'にぎれ'、'ちぢめろ' と 'ひけ' の4対は、それぞれ同じ機能を割り当てられている (別名の関係)。これはコマンドセットFについても同様である。

実験セッションは、被験者数名に対して同時に行われた。まず、被験者にマニュアルが与えられ、被験者はこのマニュアルを読み、コマンドセットの概要を学習する。進行のペースを一定にするため、コマンドセット間で共通の内容である最初の1/4については実験者が読みあげた。それ以降の部分はマニュアルによる

自習とし、最後に被験者からの質問などに答えた。学習フェーズの所要時間は10~20分であった。被験者には、ゲームの目標はロボットを正確にかつ速く操作できるようにコマンドを習得することであり、セッション中にマニュアルは自由に見てもよいが、なるべく覚えるよう努力すること、また同時にできるだけ多くの

試行をこなすことを教示した。

第1試行は練習試行とし、基本的には被験者自身が操作するが、重大なミスをしたところ、あるいはわからないとされたところで実験者が適宜介入し、説明を行った。第2試行以降ではまったく介入しなかった。この第2試行以降の実験時間は約50分とした。

2-2. 結果

(1) 完了試行数

実験時間内の完了試行数は、セットEでは第8試行完了が2名、第9試行完了が1名、第10試行完了が2名、セットFでは全員が第10試行まで完了した。セットAでは第6～10試行完了がそれぞれ1名ずつであった。

ノービスでは、キーイング速度や作業方略に大きな個人差があるため、このように試行の進行の程度が大きく異なる。以降では統計分析の都合上、第2試行から第8試行までのデータを用いることとする。なお、セットAでは第7試行の1被験者ぶん、第8試行の2被験者ぶんを欠損値として扱う(統計パッケージSASのANOVAプロシジャーでMANOVAオプションを指定し、欠損値を含んだデータの分析をした)。

(2) 平均潜時

ここでいう潜時(latency)とは、被験者が単位課題(1動作)にとりかかり始めてからコマンドを打ち込むとするまでの時間である。これは、単位課題としての目標の設定、解決方略の構想と決定、およびコマンド文の構成などのメンタルプロセスの時間と考えられ、繰り返しによる学習の進行に伴って減少していく。このうち、前二者の時間はコマンド名や構文の違いにかかわらず一様に減少するが、後者の時間の減少の程度は影響を受けると考える。

ノービスを観察する場合、キー入力速度や作業方略に大きなバラツキがあり、特にキー位置の学習過程の分離が問題になる¹⁰⁾が、潜時はそのようなキー入力動作時間を除いたメンタル時間であり、そのためバラツキが小さい点でも有効な指標であると考ええる。エクス

パートでは作業方略やコマンド文の構成プロセスが最適化され、そのパフォーマンスは、Cardら^{17~19)}のいうようにキー入力動作に支配されるようになる。

実際の潜時はキーイングログから直接測定できないので、次のように推定する。図2において、コマンドシステムからのプロンプトが表示された時刻 t_m から、被験者がコマンドの最初の文字のキーを押した時刻 t_k までの時間 $t_k - t_m$ をとり、これから別に求めておいたその試行の平均キーイング間隔時間 $\bar{K}$ を、最初の文字のキーサーチ時間に等しいとみなして、差し引いたもの $(t_k - t_m - \bar{K})$ を潜時とする。

1試行当たりの発行コマンド数は被験者によって大きく異なるため、各試行における全有効コマンドの平均潜時を比較する。有効コマンドとは、全発行コマンドからエラーのコマンドおよびエラーリカバリーのためのコマンドを除いた集合である⁷⁾。以降の分析もこれに基づく。

コマンドセットごとの平均潜時を、試行についてプロットしたのが図3である。セットAのプロットの各点のサンプル数は5であるが、破線でつないだ後ろの点はサンプル数4である。これは、実験の一定時間内(50分間)にその試行を完了した者が4名しかいなかったということであるが、参考のためプロットしておいた。これは以降の図においても同様である。

セットA、EおよびFの各試行の平均潜時についてコマンドセットと試行の2要因で分散分析を行ったところ、両主要因について高度に有意な効果がみられた(それぞれ $F(3, 81) = 22.40, p < .0001$, $F(6, 81) = 29.39, p < .0001$)。交互作用は有意でなかった。コマンドセットの効果についてSchefféの多重比較テストを実施したところ、Aの潜時はEおよびFのそれに対して有意に長いという結果が得られた。以降、このような関係を兎玉¹⁴⁾の表記法に従い、

$$A > \underline{E \cdot F}$$

と表記する。

この意味するところは、後置形コマンドのほうが前

図2 潜時およびコマンド入力時間の説明

Fig. 2 An explanation of the latency and duration.

図3 各コマンドセットの試行別平均潜時
Fig. 3 Mean latencies of each command-set across the trials.

注) コマンドセットAのデータは児玉¹⁴⁾より転載。セットAの各点のサンプル数は5であるが、破線をつないだ後ろの点はサンプル数4である。参考のためにプロットした。これは図4～6についても同様である

置形よりも、コマンド文を打ち始めるまでに要するメンタルプロセスの時間が長いということである。同時に、前置形コマンドは日本語であろうと英語であろうと、打ち始めの時間について有意な差はないということである。

(3) コマンド入力操作時間

コマンド入力操作時間(duration)は、コマンド文の最初の文字キーを押してから最後のリターンキーを押すまで、すなわちコマンド文全体を入力するのに要した時間である。図4は、コマンドセットごとの平均コマンド入力操作時間を試行についてプロットしたものである。各試行の平均コマンド入力操作時間について

図4 各コマンドセットの試行別平均コマンド入力操作時間
Fig. 4 Mean durations of each command-set across the trials.

コマンドセットと試行の2要因で分散分析を行った結果、試行の効果は高度に有意であったが、コマンドセットの効果は有意でなかった（それぞれ $F(6, 81) = 6.32$, $p < .0001$, $F(2, 81) = 0.63$, $p > .1$ ）。また、その交互作用も有意でなかった。したがってコマンドセットの効果は、

$$A \cdot E \cdot F$$

という関係にある。

コマンド入力操作時間は、オペランドの有無や、文字か数字かなどの性格、コマンド文全体の長さ依存するので、どのようなオペランドをとるかによって、コマンドを数字をオペランドとするもの、単語を択一するもの、オペランドがないものの3つのタイプに分類した。しかし、タイプ別の分析においても、コマンドセット間の効果は有意でなかった。

(4) キーイング間隔時間

キーイング間隔時間(interkeystroke interval time)は、セットEおよびAにおいては、最初にかな文字を入力してから次に別のかな文字を入力するまでの間隔時間を、セットFでは、最初にアルファベットを入力してから次に別のアルファベットを入力するまでの間隔時間である。すなわち、数字や区切り文字を除いた文字のキーイング速度であり、実質的にかなとアルファベットのキーサーチ+キーイング動作時間である。

図5は、コマンドセットごとの平均キーイング間隔時間を試行についてプロットしたものである。各試行の平均キーイング間隔時間についてコマンドセットと試行の2要因で分散分析を行った。この結果、両主要因について高度に有意な効果がみられた（それぞれ $F(2, 81) = 14.19$, $p < .0001$, $F(6, 81) = 7.84$,

図5 各コマンドセットの試行別平均キーイング間隔時間
Fig. 5 Mean interkeystroke interval times of each command-set across the trials.

p < .0001). 交互作用は有意でなかった。
コマンドセットの効果については、

$$\frac{E \cdot A}{F} > F$$

という関係が得られた。すなわち、かな文字のキーイング間隔時間はアルファベットのそれに比べて有意に長いということである。たとえば第2試行でみると、セットA, E, Fはそれぞれ1080 msec, 1120 msec, 630 msecとなっており、かなのキーイング間隔はアルファベットの約1.8倍である。これは試行の進行に伴って徐々に改善されていくが、それでも第8試行で、セットE, Fそれぞれ520 msec, 330 msecで約1.6倍である。

実験セッションの後でタイピングについて簡単なアンケートを実施したが、特にセットFの被験者がワードプロセッサやタイプライタの使用経験者というわけではなかった。やはり、ノービスユーザではキーボード上で指がうろつく“キー探し”の時間がキーイング間隔時間の要素としては大きく、学習が進むにつれて改善はされるものの、アルファベット26文字とかな47文字という選択肢の数の差に左右されるということである。このほかにも、JISキーボードではかな文字のキー割付が4段にわたるのに対して、アルファベットは3段である。このことによる筋肉動作上の不利(Rumelhartら²⁰⁾)も考慮する必要があるだろう。

(5) 短縮形の使用

コマンド名の短縮形の使用については被験者の自由としたが、日本語と英語とで違いがあった。セットAでは1人の被験者が練習試行において原形(非短縮形)を2回使い、セットEでも1人の被験者が練習試行において1回使ったものの、実験試行では両セットとも被験者はすべて短縮形を使用した。

一方、セットFでは、1人の被験者は全試行にわたって1回ずつ原形(BEGIN)を用い、別の被験者は第8試行を除いた全試行で複数回原形(SIT)を用いた。また、別の被験者は第2試行と第4試行で1回ずつ原形(SIT)を用い、さらに別の被験者は練習試行で1回だけ原形(BEGIN)を用いた。

実験試行における有効コマンド発行回数は、セットA, E, Fそれぞれ947回(31試行), 1106回(35試行), 1154回(35試行)で、日本語コマンドではこれらすべてが短縮形で用いられたのに対し、英語コマンドではうち24回が原形で用いられた。ただし、原形で用いられた語はBEGINのようにゲームのパフォーマンスに直接影響のないものを除くとSITだけであった。セットFで3文字のコマンド名はこのSITだけであり、3文字の英単語を2文字で省略するのはすっきりしないということであろう。アルファベットのキーイングが速いことによる余裕といえなくもない。逆にかなのキーイングでは極力ストロークを減らすよう努力がはらわれている。

(6) エラー

表2は、エラー形態別のエラー率を集計したものである。エラー率とは、発行したコマンド総数に対するエラーコマンドの率である。ただし、コマンド発行以前に誤りに気がついて修正したものはエラーとしない。また、エラーリカバリーに関わるコマンドは全体から除外した。表中の事前修正とは被験者がリターンキーを押す前にエラーに気がついて修正したもの(ニアミス、1コマンドに複数回起こりうる)である。これはログに記録されたものだけであって、当然キーイング前に修正されたものは入っていないが、参考のために示しておく。

エラーの発生件数、率についてはともにコマンドセ

表2 コマンド入力におけるエラー率(%)とその内容
Tab.2 Error rate of command inputs and the contents.

エラーの形態	内 容	エラー %			事前修正 %		
		コマンドセット			コマンドセット		
		A	E	F	A	E	F
1. キーのミスタッチ	周辺のキー, 長時間タッチ, 似た文字	0.1	0.6	0.3	1.1	1.4	1.1
2. 区切り文字の誤り	スペース/CRの混同, スペースの欠落	1.5	1.4	1.0	1.2	1.9	1.5
3. コマンド名の誤り	他のコマンド名との混同, 綴りの誤り	0.3	0.9	0.6	0.0	0.0	0.2
4. 処理順序の誤り	コマンドシーケンスの誤り	0.2	1.1	1.9	0.4	0.2	0.1
5. オペランドの誤り	オペランドの欠落, 誤り	0.2	1.1	1.9	0.6	0.2	0.3
合 計		3.3	5.0	5.6	3.2	3.7	3.2

図6 各コマンドセットの試行別エラー率
Fig. 6 Error rate of each command-set across the trials.

ットによる効果は有意であった(それぞれ $F(2, 81) = 3.46, p < .036$), $F(2, 81) = 3.82, p < .026$). また試行の効果も有意であった ($F(6, 81) = 6.12, p < .0001$, $F(6, 81) = 6.07, p < .0001$). コマンドセットごとに1コマンド当たりの平均エラー率を試行についてプロットしたのが図6である。セットE, Fでは2~4試行目にエラーが多いことがわかる。コマンドセットの効果については,

$$E \cdot F > A$$

という関係が得られた。

エラーの形態別では、3セットともキーのミスタッチは意外と少なく、学習の進行に伴う減少傾向はみられない。これは事前修正ぶも同じである。セットE,

Fに多いオペランドの誤りは、ほとんどコマンド名を入力しただけに必要なオペランドを入力しないでリターンキーを押すという誤り(オペランドの欠落)であるが、これも学習に伴う減少傾向はみられない。この2つ以外は、試行の進行とともにエラー率は減少していく。

セットE, Fでは、このほかに処理順序の誤りが目立つ。これは廃棄物を取り上げたり容器に収納する手順の誤り(コマンドシーケンスの誤り)である。

また、セットEはセットAと同様、区切り文字の誤りが多い。この内容としては、すべて単語間の空白の欠落であった。児玉は日本語コマンドでは単語間の区切り文字としての空白文字の欠落が多く、もともと日本語では分かち書きすることが不自然なためではないかと述べたが¹⁴⁾、セットFの英語のコマンドではこの種のエラーは比較的少なく、その考察を支持する結果となっている。

3. 考察

3-1. 前置形の得失

(1) 前置形の効率

日本語コマンドにおける動詞の位置の影響に関しては、日本語として不自然である前置形のほうが、完了試行数および潜時において優位であることがわかった。この理由を説明するために次のようなメンタルプロセスのモデルを考える(図7)。

被験者はコマンドを入力する前に、まず①単位課題を把握し、②そのゴールを決めた後、③その達成のた

図7 潜時およびコマンド入力時間のモデル
Fig. 7 A model of the latency and duration.

めに適当な機能をいくつか想起し、④これらの候補のなかから1つを採用し、⑤それに対応するコマンド名を想起する。ここまでは前置形、後置形ともに共通なプロセスである。

前置形のコマンドは、P⑥この時点でコマンド文を入力し始めることができる。そして、P⑦コマンド名に対応した構文を想起し、P⑧オペランドの値を決定しオペランド部を組み立て、P⑨これを入力していく。最後にP⑩入力した文字列を確認してリターンキーを押す。

後置形では、⑥Pコマンド名に対応した構文を想起し、⑦Pオペランドの値を決定しオペランド部を組み立て、初めて⑧Pコマンド入力を開始することができる。次に⑨Pコマンド名を入力し、⑩P入力した文字列を確認してリターンキーを押す、というステップを踏む。

このモデルに基づいて潜時の内容をみると、前置形の場合は(①+②+③+④+⑤)となり、後置形は(①+②+③+④+⑤+⑥P+⑦P)となるので、後置形は(⑥P+⑦P)のぶんだけ長いことになる。

一方、コマンド入力時間は、前置形が(P⑥+P⑦+P⑧+P⑨+P⑩)、後置形が(⑧P+⑨P+⑩P)であり、各ステップが同一時間を要すると仮定すると、前置形のほうが2ステップぶん長くなることになる。しかし実際はコマンドセット間で有意差はない。これをこのモデルでは作業記憶の負荷で説明する。

コマンドの入力中に作業記憶に保持しなければならないスキーマは、前置形については、P⑥～P⑦でコマンド名に関するもの、P⑦～P⑩で構文に関するもの、P⑧～P⑩でオペランド部である。後置形については、⑥P～⑩Pでコマンド名に関するものおよび構文に関するもの、⑦P～⑧Pでオペランド部である。つまり、後置形では前置形よりも多くのステップにわたって多くのスキーマを同時に保持し続けなければならない。このぶん作業記憶の操作に対する負荷が大きくなり、コマンド入力時間を長引かせていると考えるのである。結局、潜時が短いぶん前置形の効率がよいので、完了試行数が多い。

このように動詞の位置によって、潜時および完了試行数に差がでるという結果は、Cherryとは異なる。彼は、被験者が実験課題にとりかかる前に、コマンドセットの学習と練習のために最大3時間も与えているが、このために本実験でみられたような初期学習におけるコマンドセット間の差がみられなくなったのではないかと、あるいは実験で与えられたコマンドセットの構文が単純すぎて差がでなかったのではないかと、また、母国語の性格の差などが理由として考えられる。

また、統計的に有意な差とはなっていないが、第4試行以降、セットEの平均潜時がセットFより短くなっている。つまり、コマンド名がより早く入力されているということであるが、これはコマンド名の想起がより速やかであるということでもあり、母国語であることの効果であるかもしれない。学習が進んでもこの傾向がみられるのかどうか、さらに研究を進める必要がある。

(2) 前置形におけるエラー

一般に、エラーはその原因から slip (lapse) と mistake の2タイプに分けられる²¹⁾。さらに、パフォーマンスレベルをスキルベース (SB)、ルールベース (RB)、知識ベース (KB) と分けたいうで、mistake を RB と KB レベルでの誤りに分けて3タイプとすることもある²²⁾。キーイングのログだけからこれらを分類するのは難しい。また、本実験のようなノービスの初期学習過程は、KB から RB のルールの組織化の過程そのものでもある。そのなかでも、キーのミスタッチは SB レベルのエラー、すなわち slip と考えてよいであろう。観測した範囲では学習効果がみられないことも、それを支持している。

セットE、Fではオペランド欠落のエラーが多い。このほとんどが、“さか”せ(セットFでは SEARCH、以下同様)コマンドのオペランドである“はいきふ”つ (DISPOSAL)”あるいは“ようき (CONTAINER)”の二者択一の場面で起こっている。ゲームのなかでは、ロボットが廃棄物が容器にある程度接近してから“さか”せコマンドを発行するので、被験者の意識としてはオペランドとしてどちらを選択するかはあまりにも自明のことであり、できるだけ多くの試行をこなせというタイムストレスのもとで、ついオペランドを入力し忘れるということは考えられる。これはRBレベルでは理解しているのに、次の単位課題に注意が向いてしまった結果の slip と考えられる。このエラーは試行の進行に伴ってやや減少する傾向はみられるものの、第8試行以降まで発生し続ける。逆に後置形では、オペランドを入力してからコマンド名を入力するというインターロックの関係があって、同様な場面であっても slip はほとんど起こらない。

処理順序のエラーは、オペランドのエラーとたまたま同率となっている。これは、廃棄物を取り上げるための一連の動作として、“さか”せ→“かか”め→“た”せ→“ひらけ”→“とし”ろ→“ちち”めろ→“たて”の順にコマンドを発行するよう、また容器への収納のための一連の動作として、“さか”せ→“あわせろ”→“た”せ→“ひらけ”の順にコマンドを発行するとの規定に対する違反である。この規定は課

題を複雑にするためにあえて設けたものである。実は、これら一連のコマンド列のうち“さかゝせ”コマンド以外はオペランドを省略できるか、またはもたない。したがってセットAとEでは全く同じコマンド文字列を入力しているのであるが、このような違いが表れた。原因は不明であるが、RBレベルのエラーであると思われる。ともに“さかゝせ”コマンドで始まるシーケンスなので、上に述べたオペランド欠落のエラーと関連があるのかもしれない。このエラーは、セットEでは第5試行まで、Fでは第6試行までで消失する。

セットAにおいては上記2つのエラーがある程度事前にチェックされているのも特徴的である。

Cherryは、エラー率について前置形も後置形も有意な差はなかったとしている。エラーの内容の分類は詳細に行っていないが、ほとんどが語順の入り繰りとだけ述べている。おもしろいのは、有意な差ではないが、ノービスの被験者では前置形でエラーが多く、経験のある被験者では後置形でエラーが多くなっているという点である。本実験においても、両前置形コマンドで学習の浅い第2試行から第4試行にかけてエラーが集中的に発生しており、第5試行以降はコマンドセット間の違いが目立たなくなってくる。Cherryの結果とあわせて考えると、被験者の母国語でどのような語順が自然なのかにかかわらず、前置形コマンドでエラーが多いのはノービスの傾向であるのかもしれない。

3-2. かな文字キーイングの得失

キーイングにおいては、かなはアルファベットに比べ不利であるが、1回のキーイングで表現できる情報量はかなのほうが多く、かなキーイングは必ずしも不利ではないということがよくいわれる。1キーストローク当たりの情報量は、実際には各日常言語の単語出現頻度なども含めて算出するべきであるが、ここでは本コマンドセットをもとに試算してみよう。

短縮形は単に先頭2文字と決めたにすぎないので、本実験課題を短縮形のコマンドを使わずに遂行したとして、1コマンド名の入力に何ストローク要したかを計算する。これは1キーストローク当たりの情報量ではないが、認知的に同値と思われるコマンドセット間における1キーストローク当たりの相対的な情報量として扱うことはできる。まず、コマンド名キーイングのために要した総キーストローク数(ログより求めたコマンド名ごとの度数とそのコマンド長の積の総和)を算出する。これを総コマンド発行数で除して、1コマンド名当たりのキーストローク数とする。結果は、セットE、Fそれぞれ3.39、4.39であった。これにキーイング速度を乗じてコマンド名入力時間とするが、

それぞれ1760 msec、1450 msecであった。つまり情報量を考慮しても、英語のコマンドのほうが入力スピードは速いということになる。

濁点を独立のキーストロークとしないようにキーボードを工夫したと想定して、セットEでの濁点入力ぶんを差し引いてみると、1コマンド名当たりのキーストローク数は2.75で、コマンド名入力時間は1430 msecとなり、英語コマンドとほぼ同等の入力時間となる。つまり、かな入力の弱点と思われる濁点、半濁点、拗音などの入力のためのキーボードの工夫があれば、ひらがな日本語コマンドは、コマンド入力時間においてもひけをとらないということである。もちろん、キーボードが違うのだから、本実験で得られたキーイング間隔時間をそのまま代入するわけにはいかないが、参考にはなるであろう。

4. まとめ

ひらがな日本語コマンドは英語コマンドと比較して、キーイング上の不利があることが明らかになった。にもかかわらず、前置形の日本語コマンドでは、潜時、コマンド入力時間、完了試行数においてなんら遜色はなかった。これが母国語であることの効果であるかもしれないが、ノービスに対する受け入れられやすさなど、母国語であることの積極的な効果は観測できなかった。

コマンドの構造としては、日本語コマンドおよび英語コマンドともに前置形のほうが効率がよかった。コマンドによるコンピュータとの対話の効率としては、必ずしも自然言語に近ければ近いほどよいというわけではないのであろう。しかし、前置形の日本語コマンドは可読性が低く、プログラム言語のように保存され、繰り返し読まれる言語としてはふさわしくはない。やはり、コマンドという、対話環境のなかで使い捨てられていくリアルタイムの命令としてのみ有効なのであろう。

参考文献

- 1) Shneiderman, B. (東 基衛, 井関 治監訳): Designing the user interface (ユーザインタフェースの設計), 84~187, 日経 BP 社, 東京, 1988.
- 2) Shneiderman, B.: Direct Manipulation: A Step Beyond Programming Languages, IEEE Computer, 16(8), 57~69, 1983.
- 3) Ledgard, H., Whiteside, J., Singer, A. and Seymour, W.: The natural language of interactive systems, Commun. ACM, 23(10), 556~

- 563, 1980.
- 4) Carroll, J. M. : Learning, Using and Designing Command Paradigms, *Human Learning*, 1, 31~62, 1982.
- 5) Jørgensen, A., Barnard, P., Hammond, N. and Clark, I. : Naming Commands : An Analysis of Designer's Naming Behaviour, *The Psychology of Computer Use*, 69~88, Academic Press, London, 1983.
- 6) Landauer, T., Gallotti, K. and Hartwell, S. : Natural command names and initial learning : A study of text-editing terms, *Commun. ACM*, 26(7), 495~503, 1983.
- 7) Robert, T. L. and Moran, T. P. : The evaluation of text editors : Methodology and empirical results, *Commun. ACM*, 26(4), 265~283, 1983.
- 8) Grudin, J. and Barnard, P. J. : The Cognitive Demands of Learning and Representing Command Names for Text Editing, *Human Factors*, 26(4), 407~422, 1984.
- 9) Landauer, T. and Gallotti, K. : What Makes a Difference When? Comments on Grudin and Barnard, *Human Factors*, 26(4), 423~429, 1984.
- 10) Poller, M. F. and Garter, S. K. : The Effects of Text Editing by Experienced Editor Users, *Human Factors*, 26(4), 449~462, 1984.
- 11) Rogers, Y. and Osborne, D. J. : Some psychological attributes of potential computer command names, *Behaviour and Information Technology*, 4(4), 349~365, 1985.
- 12) Bauer, D. and Eddy, J. : The Representation of Command Language Syntax, *Human Factors*, 28(1), 1~10, 1986.
- 13) Hammond, N., Barnard, P., Morton, J., Long, J. and Clark, I. : Characterizing user performance in command-driven dialogue, *Behaviour and Information Technology*, 6(2), 159~205, 1987.
- 14) 児玉公信 : ひらがな日本語コマンドシステムのコマンド名に関する実験的考察—コマンド名の有意味度がパフォーマンスに及ぼす影響—, *人間工学*, 27(1), 17~24, 1991.
- 15) Cherry, J. M. : An experimental evaluation of prefix and postfix notation in command language syntax, *Int. J. Man-Machine Studies*, 24, 365~374, 1986.
- 16) 小松原明哲, 中島徳夫, 横溝克己 : 学習過程からみた日本語ワードプロセッサの“とりつきやすさ”について, *人間工学*, 23(1), 25~33, 1987.
- 17) Card, S., Moran, T. and Newell, A. : The Keystroke-Level Model for User Performance Time with Interactive Systems, *Commun. ACM*, 23(7), 396~410, 1980.
- 18) Card, S., Moran, T. and Newell, A. : *The Psychology of human-computer interaction*, Lawrence Erlbaum Associates, New Jersey, 1983.
- 19) Allen, R. and Scerbo, M. : Details of Command-Language Keystrokes, *ACM Trans. on Office Information Systems*, 1(2), 159~178, 1983.
- 20) Rumelhart, D. E. and Norman, D. A. : Simulating a Skilled Typist : A Study of Skilled Cognitive-Motor Performance, *Cognitive Science*, 6, 1~36, 1982.
- 21) Norman, D. A. (野島久雄訳) : *The psychology of everyday things (誰のためのデザイン)*, 169~228, 新曜社, 東京, 1990.
- 22) Reason, J. : *Human Error*, 53~124, Cambridge Univ. Press, Cambridge, 1990.