

ウィンドウの操作と配置

今宮 淳美

藤井 匡

山梨大学 計算機科学科

ウィンドウシステムはユーザ・インタフェースとして有効であると考えられているが、その有効性の検証を詳細に行った研究は少ない。本論文では、ウィンドウ操作実験の結果と解析について述べる。実験ではウィンドウシステム上の描画ツールを利用してデジタル回路図作成編集を行うユーザの行動を観察分析した。論文は3つの部分からなる：ウィンドウ操作の統計と分析、認知的配置の傾向、さらにユーザの処理行動の過程をGOMSモデルで記述解析した。

Windowing Commands Frequencies and Layout

Atsumi IMAMIYA and Tadashi FUJII

Department of Computer Science, Yamanashi University
Takeda-4, Japan 400

It is widely believed that a multiwindow system is very effective for user interface. But there is very little research to support that belief. This paper describes an embryonic experiment and the analysis to investigate the prediction.

The experiment was performed to study user's behavior on windowing; we study user's behavior creating and editing a digital circuit diagram on windows. The purpose of the study are threefold; the window command frequencies, cognitive layout characteristics, and the description of user's windowing activity based on GOMS model were collected and analyzed.

● はじめに

本論文の目的は図形編集課題を与えて、被験者の配置操作を観察し、操作統計、配置傾向、および編集行動モデルのデータを得ることである。ユーザの情報統合分散過程を調べることは良いユーザインタフェースとしてのウィンドウシステムを構築するのに重要である。本論文ではウィンドウベースの図形描画ツールで図形編集を行う被験者の操作とウィンドウ配置傾向をVTRで記録する。配置操作系列はKLMモデルで記述評価する。

●● 実験

被験者は、与えられたサンプルのデジタル回路図の複製をMacintosh上の描画ツールSuper-Paintで作成する。被験者が操作になれるために、あらかじめ練習課題を用意してある。被験者のウィンドウ配置操作の統計と配置の認知的傾向およびGOMSモデルによるユーザ行動記述を得るのが実験の目的である。

□ 実験課題

課題：実験用紙（ワーク用）ウィンドウに、課題の回路図（ウィンドウ回路

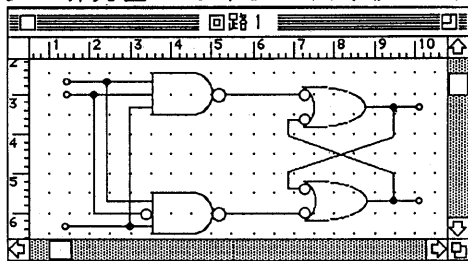
- 1）と同じ回路図を作成する。各ゲート・シンボルはAND系、OR系2つのウィンドウにある。必要なゲートがない場合は、被験者が作成する。

課題回路図：ウィンドウ回路1には、3種類のシンボル（AND、OR、NOT）と線分、端子、接続部分がある（図1(a)）。

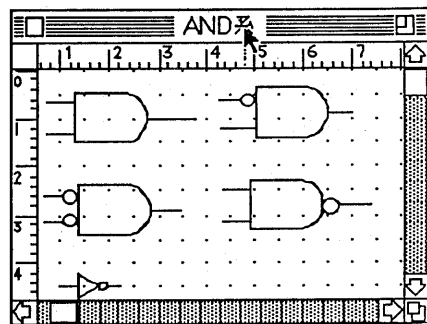
回路部品：AND系（図1(b)）とOR系シンボル（図1(c)）用に2つのウィンドウを用意してある。

□□ 被験者

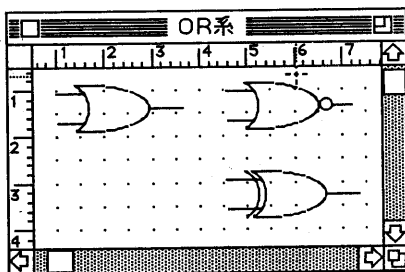
被験者8名について課題遂行過程を記録、測定した。被験者Aは、SuperPaintおよびMacintoshの使用経歴が2ヶ月、ほかの7名は数日である。被験者は、著者らの研究室の4年生と大学院生（計算機科学専攻）である。



(a) 課題回路



(b) AND系シンボル



(c) OR系シンボル

図1. 課題回路図と回路部品

□□□実験手順

描画ツールSuper-Paintの操作になれるために被験者は練習課題を行う。練習では、実験者は被験者に課題回路図作成に必要な機能（ウィンドウ操作、複写、配線の方法）について被験者に説明し質問に答える。被験者ごとに練習課題を3回行う。はじめの2回は実験前日に、さらに1回は実験の直前である。機能説明をするが、どのツールを使うと効率的であるかなどの回路図作成に直接かかわると思われることを教示しない。

□□□□実験環境

被験者は課題回路図の作成用にMacintosh上で動く描画ツールSuper-Paintを使用する。ディスプレイは13インチ、分解能は640×480ドットである。実験者は被験者の課題遂行過程を被験者の背後上方のテレビカメラとVTRで観察記録する。

●●●分析

被験者のウィンドウ操作統計と認知的ウィンドウ配置の傾向、KLMモデルによるウィンドウ配置行動記述を得る。課題遂行で用いるウィンドウ操作を、図2に示す。操作で使用するアイテムは図3のように配置されている。

	操作	操作方法
1.	選択	選択ウィンドウをマウスでクリック
2.	拡大・縮小	リサイズ・ボックスをドラッグ
3.	移動	タイトル部分をドラッグ
4.	スクロール	スクロール・ボックスをドラッグ

図2. ウィンドウ操作の種類と操作方法

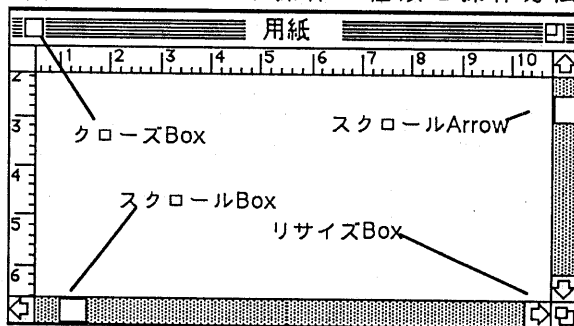


図3. ウィンドウ操作アイテムの配置

□操作統計

ウィンドウ操作は、課題遂行に先立つ作業環境設定のためのウィンドウ配置（第1セッション、図4）と、回路図描画過程のウィンドウ操作（第2セッション、図5）の2セッションに分けられる。

図4に示すウィンドウの操作

統計では、C、DとGの操作数が他の被験者より少ない。特に移動の操作は顕著

である。オーバーラップ方式で配置するときには作業スペースの確保と課題図形（回路1ウィンドウ）の参照が主な作業である。タイル方式の配置は、課題内容よりも作業スペースの設定をウィンドウ全体の構成により行う。したがって、移動操作が多い。

図5によれば配置終了後の課題遂行ではウィンドウ切り替えの選択操作とスクロールが大半である。オーバーラップ配置の被験者の方がウィンドウ切り替えの操作が多い。更に被験者Fは、タイル配置し作業環境設定に時間をかけたため第2セッションのウィンドウ操作は選択だけであった。配置傾向が2つに分かれた理由は課題の大きさが、表示画面の4分の1程度であるのでディスプレイを4分割してウィンドウを配置することが可能であったためであろう。ただし、どちらの場合もワーク用のウィンドウ（用紙ウィンドウ）を優先的に配置している。ウィンドウの拡大・縮小は、ウィンドウ内部の回路図を適切に配置するために実行される。作業中ではウィンドウサイズの変更はほとんどなく平均するとスクロールが多い。タイル方式は選択操作でアクティブウィンドウを切り替える（被験者、A, B, D, E, F）。オーバーラップ方式ではウィンドウの再配置を行うために、選択の代わりに移動操作が多い（被験者、C, G）。回路図形は表示画面の1/4以下の大きさなのでウィンドウ配置を適切に行えば、内容参照にスクロールを利用することはない。被験者Gは図形の一部を拡大して編集したのでウィンドウ内部でのスクロールを多用している。他の被験者は、ウィンドウ内での課題回路の位置修正、操作ミスからの回復のためのスクロール操作が多い（被験者、A, B, C, D, E）。被験者AとFは、ウィンドウ配置が適切で回路図形参照のスクロールはない。被験者AとFを比較したとき、被験者Aに移動操作があるのは、Aのウィンドウ配置がタイル方式とオーバーラップ方式の中間的配置のため作業中にウィンドウの再配置を必要としたからである。さらに被験者Aは回路図作成のワーク用ウィンドウのスペースが、はじめ小さかったので拡大した。拡大縮小の操作は、参照とワークスペース確保のために行う。（スクロール操作で、編集回路図の位置を移動しながら操作しても良い。ワークエリアを課題回路図と同じ大きさに設定しようとする。）

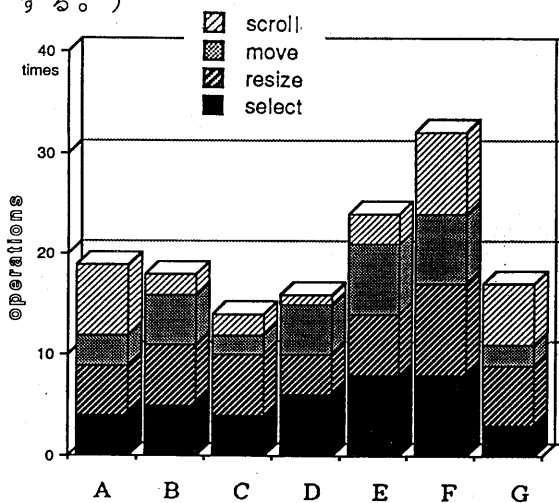


図4. 操作統計（セッション1）

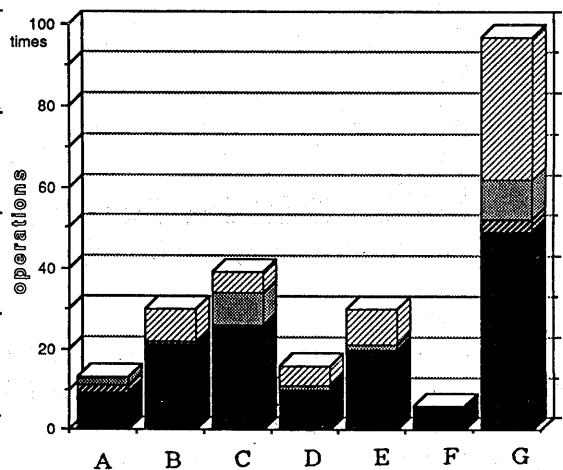


図5. 操作統計（セッション2）

□□熟練度の評価と操作

ウィンドウ配置時間と、配置時間を①操作回数（OPT、図7）、②移動回数、③ウィンドウ数（WOT、図9）で割った時間および配置形式を各被験者について図6に示す。さらに①②③をグラフにして、図7、図8、図9に示す。

被験者	A	B	C	D	E	F	G	H	合計：
配置時間(秒)	45	84	66	65	66	85	52	134	597
／操作数(秒)	2.4	4.7	4.7	4.1	2.8	2.7	3.1	7.4	3.8
／移動数(秒)	15.0	16.8	33	13	9.4	12.1	26	33.5	17.1
／ウィンドウ(秒)	11.3	16.8	16.5	16.3	16.5	21.3	12.8	33.5	18.1
配置形式	タイル+	タイル	オーバ	タイル+	タイル	タイル	オーバ	タイル	

図6．配置時間と操作数、ウィンドウ数の関係
(excutetime/operations)

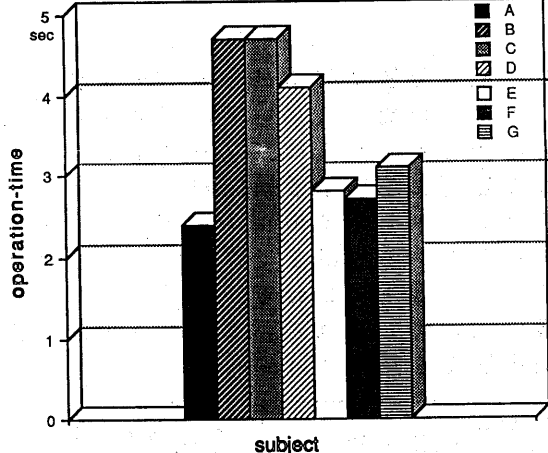


図7．配置時間／操作数（OPT）（秒）
(excutetime/operations)

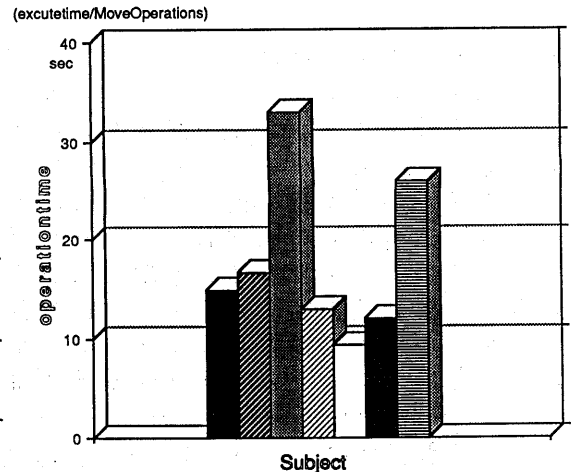


図8．配置時間／移動回数（秒）

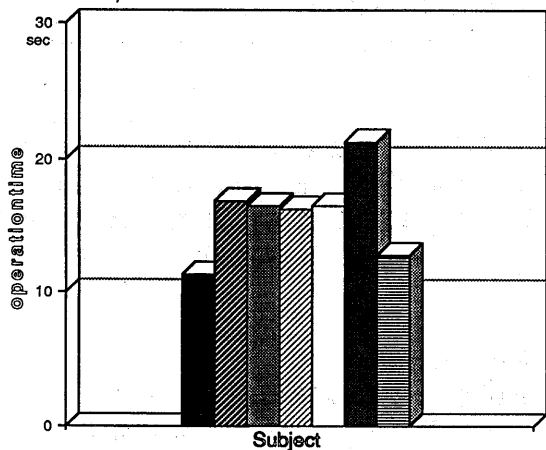


図9．配置時間／ウィンドウ数（WOT）

図7：被験者BとCはウィンドウ操作1回あたりの時間が長い。被験者Dは思考時間が長く結果として操作1回あたりの時間が長くなった。

図8：オーバラップで配置した被験者CとGは、移動あたりの時間が長い。

図9：被験者Fは、ウィンドウあたりの操作時間が長く、ていねいに配置したことがわかる。

被験者のウィンドウ操作の熟練度を判断する目安として評価値Levelを導入する。被験者のウィンドウ操作1回あたりの実行時間をOPT、各被験者のウィンドウあたりの操作時間の平均をWOTとすると、

$$\text{Level} = \text{OPT} * \text{WOT}$$

Levelによる熟練度と被験者の観察結果による熟練度とは一致している（図10）。

被験者	A.	G.	E.	F.	D.	C.	B.
Level	27.1	39.7	46.2	57.5	66.8	77.5	78.9
観察*	1	2	4	5	3	7	8

図10. 被験者のレベル分け

*: 被験者のシステム利用の状況と操作の観察による主観的な評価順位

被験者Dについては、配置作業を丁寧に行って、操作間の非操作時間（思考時間）が長いために熟練度評価が第5位である。

□□□ウィンドウ配置

課題遂行で使用したウィンドウは4つで、配置位置に特徴がある。被験者は、2つの方法でウィンドウを配置した。ウィンドウが重ならない配置（タイル方式）と、重ねる配置（オーバーラップ方式）の方法である。さらに、ワーク用ウィンドウはタイル型で配置の被験者は、表示画面の左下に配置する傾向がある。オーバーラップ方式で配置の被験者は、ワーク用ウィンドウを全てのウィンドウの上に重ねる。これは、机上の作業形態と共通する傾向である。机上で作業するとき、作業で頻繁に使用する対象を手前に配置するか一番上に重ねる。ディスプレイ画面下半分を机の手前としてウィンドウ配置したと考えられる。ウィンドウ配置方式と、各セッションのウィンドウ操作傾向を図11に示す。

配置方式	第1セッション	第2セッション	全体操作
タイル	移動が多い	選択が多い	少ない
オーバーラップ	移動が少ない	移動が多い	多い

図11. 配置と操作の関係

ウィンドウ配置は、情報選択統合過程を反映するさまざまな傾向を示すと考えられている[NORM86]。タイル方式で配置した被験者は情報集約的配置（情報を、複数のウィンドウから集める）、オーバーラップ方式で配置した被験者は選択的注意の配置（作業に必要な情報の表示されているウィンドウに注目する）をしていると解釈できる。

●●●●ウィンドウ配置過程

被験者は、回路図描画前にウィンドウを配置して作業環境を設定する。配置操作は図2の操作で、操作時間が被験者で異なっている。この時間差を明らかにするためにGOMSモデルのKLMモデルで操作の系列を記述し比較する。

□ K L M モデル

K L M モデルは、Card, Moran, Newellらが提唱した認知心理学的ユーザ行動モデルで被験者の行う作業をキー操作時間（M）、マウスやカーソルキーで画面上の文字や図形を指示する時間（P）、タスク獲得や思考時間（M：認知操作）など数種の操作子で記述し、実験で測定した代表的な時間をあてはめてユーザの作業時間を予測するモデルである [CARD83]。

□□ 操作記述子

被験者の処理行動をタスク獲得と操作のふたつに分解し記述する。記述する操作子として、M, P, Kを用いる（図12）。システムからの応答時間は測定により、0.1秒～0.2秒であった。処理中には長い非操作時間があり、3秒以上の非操作時間をタスク獲得の時間として定義する。課題処理時間は、操作時間とタスク獲得時間の合計である。

M: 思考時間	1.35秒
P: マウスで指示する時間	1.10秒
K: 1打鍵の時間	0.20秒
タスク獲得時間：3秒以上の非操作時間を操作時間に加算する	

図12. K L M記述の操作子と操作時間

□□□ 操作時間の記述

図13にウィンドウ配置の5つの操作をK L Mモデルで記述する。（モデルA）

ウィンドウ操作	操作記述子列	時間（秒）
select-window	MP[location]K[click]	2.65
resize-window	MP[location]K[press]P[location]K[up]	3.95
move-window	MP[location]K[press]P[location]K[up]	3.95
scrole-window1	MP[location]K[press]P[location]MK[up]	5.30
scrole-window2	MP[arrow]K[click]	2.65

図13. K L Mモデルによるウィンドウ操作の記述（モデルA）

スクロール作業はスクロールボックスをドラッグするのとスクロールアローをクリックするの2種類がある。予測値は被験者のスクロールの時間よりも長い。なれてくるとスクロール操作は1秒から2秒の間に収束する。
新しい操作記述子の導入：使用履歴が長くなると、ウィンドウ操作時間に変化がみられる。履歴時間が長くなると、タスク獲得の時間が減少して、操作対象の選択時間がM時間の大半を占めると考えられる。したがって、履歴の変化に応じてGOMSモデルのM操作子を変更する必要がある。ウィンドウ操作については、M時間をタスク獲得の1.35秒からウィンドウ選択のために2ないし3個のウィンドウを参照するとして、[木村87]の提案する $X=0.48$ 秒としてみる。操作の記述を図14. に変更する（モデルB）。

ウィンドウ操作	操作記述子列	時間（秒）
select-window	XP[location]K[click].	1.78
resize-window	XP[location]K[press]P[location]XK[up]	3.56
move-window	XP[location]K[press]P[location]K[up]	3.08
scrole-window1	P[location]K[press]K[up]	1.50
scrole-window2	P[arrow]K[click]	1.30

図 1 4. K L M モデルによるウィンドウ操作の記述（モデル B）

ウィンドウ配置時間を、モデルによる予測時間と実操作時間の比較で検討する。図 1 5 に、ウィンドウ操作時間の測定値と予測値を示す。

被験者	実操作時間	モデル A	モデル B	配置のタイプ
A (1)	45.0 秒	79.3 秒	44.6 秒	タイル++
B (7)	84.0	77.9	48.6	タイル
C (6)	66.0	60.8	45.6	オーバラップ
D (5)	65.0	73.7	58.8	タイル+
E (3)	66.0	88.5	61.6	タイル
F (4)	85.0	105.6	79.8	タイル
G (2)	52.0	51.5	44.8	オーバラップ
H	----	----	----	-----

図 1 5. ウィンドウ配置時間とモデルの予測時間

*括弧内の数字は、Level の評価順位

被験者の操作時間がモデル A とモデル B のどちらに近いかを図 1 6 に示す。モデル A、モデル B で予測した被験者のウィンドウ配置時間をそれぞれ MAT、MBT、実験のウィンドウ操作時間を SOT とする。被験者の位置（Subject（%））を次式で表す、

$$\text{Subject} = (\text{SOT} - \text{MBT}) / (\text{MAT} - \text{MBT}) * 100 (\%)$$

被験者 A、E、F はモデル B に近い実験値を示している（ウィンドウ操作に慣れている）。被験者 B、C、G はモデル A に近い実験値を示している（ウィンドウ操作に不慣れである）。

Model-B の予測時間				Model-A の予測時間		
A*****EF*	***D*****	*****	*****	***G*****B*	***C*****	
0 (%)	25	50	75	100	125	150

図 1 6. モデルと操作時間の距離

□□□□時間のずれ

GOMSモデルの時間予測は熟練者がミスなしで操作することを前提としている。本実験では、システム操作に対する経験はまちまちで、習熟程度も異なるため、課題遂行時間、ウィンドウ操作時間のバラツキが大きい。

操作時間を左右する要素は、被験者観察と実験後の被験者に対する質問から以下のように分類できる。(図17)

1. 要求される正確さ／課題遂行の目標精度
2. 操作の経験が短い。
3. 使用ツールが適切でない場合
4. 誤操作とそれにともなう回復の操作
：誤操作を認識するためのMental-Pauseが入る
5. ツールやメニュー項目を探す時間

図17. 作業遂行時間を左右する要因

□□□□□思考時間

課題遂行中に現れる長い非操作時間は、課題獲得や意思決定などの認知的操作をしていると考えられる。本実験の認知操作を図18に示す。図形処理などの創造的作業は、思考時間が長くなる。

1. タスク獲得、方略決定 (AQ)
2. ツールの選択 (TS)
3. ウィンドウの再配置 (WT)
4. 結果の確認 (VF)

図18. 非操作時間の分類：

おわりに

ウィンドウ利用の課題について操作統計、認知的配置、作業モデルを実験的に記録分析した。今後さらに部分的操作に関して詳細な実験が必要である。とくにユーザは非操作時間で何を行っているかを調べる予定である。

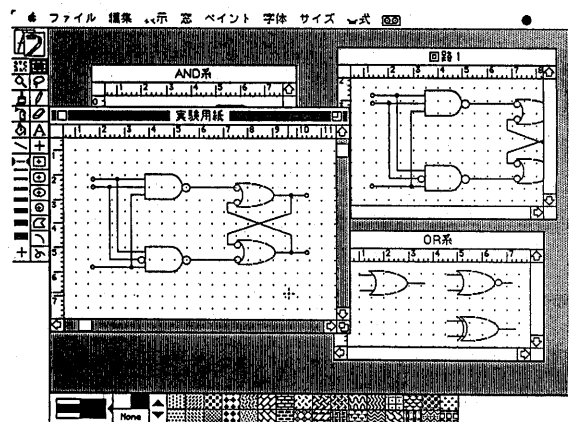
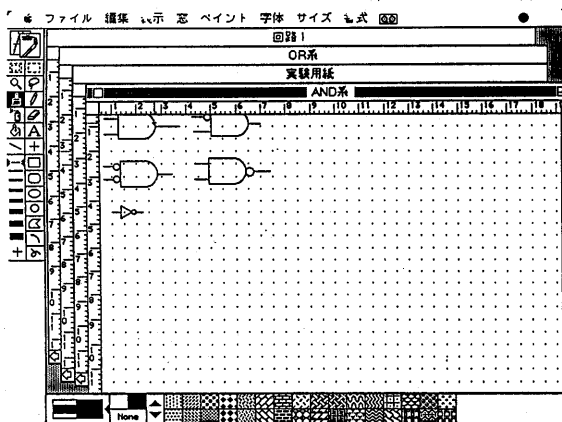
ユーザのウィンドウ操作と配置に注目して分析を行った結果、実際にユーザが行うウィンドウ配置にタイル、オーバーラップのふたつの方式があること、配置方法で操作数が異なること(オーバーラップ方式は操作が多い)がわかった。また、ワーク用のウィンドウは、ディスプレイの左下と中央に配置する。ウィンドウ操作は選択操作によるウィンドウ切り替えが主で、その他の操作はウィンドウ内容を見やすくするための操作である。このことから、内容が見えるようにウィンドウを配置することで操作数減少の可能性がある。そのために、画面サイズを大きくする、内容を縮小表示する、ウィンドウのアイコン化などの手法が有効ではないだろうか。MacIntoshの操作をKLMモデルで記述すると、P[location]K[pres]P[location]K[up]とK[klick]のふたつの操作列が多く現れる。前者がマウスのドラッグ、後者がクリック操作である。操作列の記述に同じ表現が頻繁に現れるのは操作に統一性があるからである、事実MacIntoshのユーザインタフェースは同じ操作であらゆる機能を使うようになっている。KLMモデルはキーストローク

時間と選択、決定などの短い思考時間に基づいたモデルであり、回路設計や図形編集などの創造的作業では非操作時間を思考時間として特別に扱わなければならない。そこで、ウィンドウシステムの認知的有効性を測定するには、操作時間に加えて思考時間を有効なモデルで記述しなければならない。思考時間は情報収集と情報加工をしていると仮定すると、“何を見たか”という視線の情報が操作子として有効ではないだろうか。本論文では、思考時間について、ウィンドウ操作は複数のウィンドウの中からの注目するウィンドウ選択過程であるとし操作子をXに変更ウィンドウ操作を記述して良い予測時間を得た。注目したウィンドウ数を知ることができれば、より細かな操作子の導入が可能ではないだろうか。

本実験のためにMacintosh IIおよびソフトウェアを貸して下さった山梨キャノンコピーの塩沢、小川両氏、VTRその他実験機材を貸与して下さいました沖電気の松下博士および種々有効な議論に対してmmi研究会の諸氏に感謝します。

参考文献

- [NORM86] Norman, K. L., Weldon, L. J. and Shneiderman, B. Cognitive layouts of windows and multiple screens for user interfaces. Int J. Man-Mach. Stud., Vol. 25, pp 229-248 (1986)
- [CARD83] Card, Stuart K. Thomas P. Moran, Allen Newell. The Psychology of Human-Computer Interaction. LEA Publishers. (1983)
- [木村87] 木村 泉：打鍵レベル模型について、概説と問題提起、計算機システムのヒューマンインタフェース、モデル・評価・展望 情報処理学会シンポジウム論文集 (1988. 3)、pp. 11-24.



□ 付録図：ウィンドウ配置の初期状態（図 a）と、最終状態（図 b）