

HCI における探索過程の認知モデル

北島 宗雄^{*1}

A Comprehension-Based Model of Deliberate Search

Muneo Kitajima^{*1}

Abstract — Users of modern display-based applications perform tasks by selecting appropriate objects on the interface display, which include pull-down menus and sub-menus, buttons in tool-bars, objects in application windows, and icons on the desktop. Empirical studies show that the users tend to select objects whose descriptions are similar to the description of their current goals. Since objects' labels determine their descriptions, this strategy is called label following. However, there are many aspects of users' search behavior that are not consistent with this strategy. Inexperienced users will focus their search on the menu hierarchy ignoring objects on displays whose descriptions are very similar to their goals. Users will act on objects whose descriptions are unrelated to their goals with the objective to try to find more objects whose descriptions are good matches. This paper describes a cognitive model CoLiDeS (Comprehension-based Linked model of Deliberate Search) that simulates these and other search patterns as well as label following. Two mechanisms in CoLiDeS generate these search patterns. First, users focus their searches on a single category of objects on the interface display (e.g., the menus). Second, users object selections are controlled by their expectations. Users are expecting to find objects whose descriptions exactly match their goals. We show that CoLiDeS can simulate frequently observed search patterns by appropriately manipulating the strengths of these expectations.

Keywords: display-based human-computer interaction, label following strategy, search, cognitive model, simulation

1. はじめに

筆者らは、ユーザがグラフィカルユーザインタフェース(GUI)を利用してタスクを遂行する過程について、さまざまな局面を対象としてモデル化する研究を進めてきている。文献[3]ではエキスパートユーザが、学習済みの知識を利用して操作選択を行う過程のモデルを構成し、エキスパートユーザが犯すエラー(アクションスリップ)のメカニズムを提案した。文献[5]では、初心者ユーザが、インストラクションやヘルプメッセージに記述されている指示を理解しながら正しい操作を実行する過程のモデルを提案した(LICAI モデル; 後述)。また、文献[6]では、LICAI モデルに基づいて、初心者ユーザがインストラクションやヘルプに従うことが難しくなる原因を、それらの記述内容とインタフェースディスプレイの表示内容から分析した。

本論文では、初心者ユーザが、タスクを遂行するための適切な操作をインタフェースディスプレイ上に直には発見できなかった場合にとる探索行動をシミュレートできるモデルを提案する。以下では、まず、ディスプレイベースのヒューマンコンピュータインタラクションの特徴と、そのなかで起こるラベル追従行動、ならびに、それが失敗したときに起こる探索行動について説明する。次に、筆者らが研究を進めているラベル追従行動の認知モデルについて説明し、続けて、探索行動を起こさせる

ための探索スキーマを提案する。例題として「凡例を表示しない」というタスクを、Excel を用いて実行する過程のシミュレーションを示し、探索スキーマがどのように働くかを示す。

2. ディスプレイベースのHCI

2.1 インタラクションサイクル

GUI を介してタスクを実行する場合には、ユーザはディスプレイから提供される情報をタスクゴールの視点から評価して次の操作の選択を行う。そして、操作を実行することによってディスプレイに変化がもたらされ、タスクの進行状況进行评估することができる。その結果、タスクが完了していないことがわかれば、次の操作を選択するために新たなインタラクションサイクルを起動する。

このようなディスプレイベースのインタラクションは、操作系列を予めプランして操作を実行する場合に比べ、環境からのフィードバックの操作選択における重要性が大きくなっているという特徴をもっている。Monk[8]は、環境とのインタラクションの観点からHCIのモデルをサーベイしている。

2.2 ラベル追従ストラテジー

ディスプレイベースのインタラクションにおいては、ユーザはタスクを遂行するときにラベル追従ストラテジー(label following strategy)と呼ばれるストラテジーを利用することが確認されている[9]。ユーザは、次の操作を選択するのにインタフェースディスプレイのオブジェクトのなかからその記述がタスクゴールの記述に最もよく適合するものを選び、操作として最も適当なものを選択

*1: 生命工学工業技術研究所

*1: National Institute of Bioscience and Human-Technology

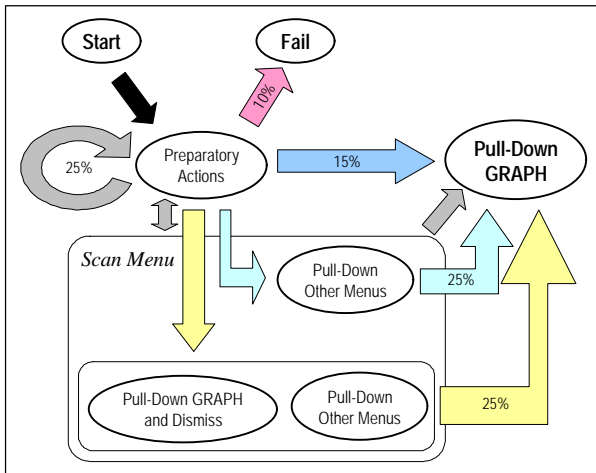


図1 ユーザのメニュー選択行動の分析結果[10]

Fig. 1 Analysis of users' menu selection behavior

して実行する．ここで、操作とはメニュー項目の選択、アイコンのダブルクリックなどである．GUIを使った経験があるユーザならば操作の選択が問題となることはほとんどない．このようなユーザであれば、例えば、メニュー項目の上にマウスポインターを合わせてそこでマウスボタンを押すとメニューのリストが現れることを知っている．操作の選択においてはGUIに関する一般的な知識を持ってさえいれば問題は起きない．

一方、操作対象オブジェクトの選択は、タスクゴールの表現とインタフェースディスプレイ上のオブジェクトの表現との間の適合度を評価して行われる．そこで、多くの場合に有効となる戦略が必要になってくる．それが、ラベル追従戦略である．ここでは、適合度の評価は、ゴールとオブジェクトの間の意味的な類似度に基づいて行われる．オブジェクトが文字ラベルを持つ場合は、ゴールの表現とそれが完全に一致していれば類似度は1となる．オブジェクトに文字ラベルが付いていない場合には、そのオブジェクトに関する知識を利用して類似度が評価される．類似度が高いオブジェクトが存在すればラベル追従戦略は有効に働く．

2.3 ラベル追従行動と選択行動

Rieman[10]は、ユーザがラベル追従戦略を実際にどのように使用するかを調べるための実験を行っている．実験では、「グラフを作成する(Create Graph)」というタスクを20人の被験者にCricket Graphを用いて実行させた．正しい操作は、Graphメニューをメニューバーから選択することである．この場合には、ラベル追従戦略が有効に働くことが予想される．

以下に、観察されたタスク遂行過程の分析結果を示す(図1参照)：

- G_0 ：被験者の90%は正しいメニュー項目Graphを発見した．
- $G_1:G_0$ の15%はマウスカーソルをGraphメニューに直

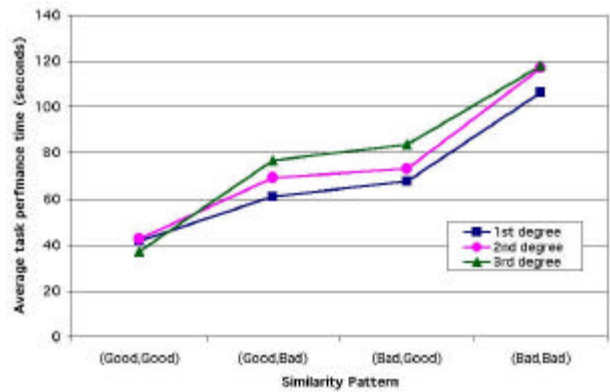


図2 タスク実行時間とラベルのタスク適合度の関係[11]

Fig. 2 Effects of similarity pattern and degree of badness on task performance time. (adapted from [11])

ちに移動しプルダウンメニューを表示した．

- $G_2:G_0$ の50%はマウスカーソルをスクリーンの他の部分に移動した後、Graphメニューに移動した．
- $G_3:G_2$ の50%は正しいメニュー項目Graphをプルダウンするが何も選択せずに他のメニューに移動した．そして、再び、Graphメニューに戻った．
- G_4 ：被験者の25%は、一度行った行動を繰り返して行った．

90%の被験者の行動は、ラベル追従戦略を使用したものとして説明できる．しかし、詳しく見ると、最終的に正しいオブジェクトを選択するまでに他のメニューをプルダウンするなどの探索を行っていたことが分かる．

2.4 意味的類似度とタスクパフォーマンスの関係

Soto[11]は、ラベル追従行動を詳しく分析するために、48人の被験者に8種類のグラフ作成・編集に関わるタスクを特別にデザインされたインタフェースを用いて実行させ、タスク実行時間とヒント数を記録した．インタフェースは3階層からなるメニュー(メニューバー、プルダウンメニュー、サブメニュー)であり、メニュー項目に用いるラベルとタスクとの類似度が4段階に設定されていた(Good, Bad₁, Bad₂, Bad₃)．なお、ラベル間の意味的な類似度は、潜在意味分析(Latent Semantic Analysis, 略してLSA)に基づいて定義されている．LSAは、巨大なコーパスを対象に特異値分析を行って高次元意味空間(~300次元)を構成する方法であり、構成された空間内で単語間の類似度を定義することができる¹[7]．

図2は、タスク実行時間と、メニューに用いられた項目とタスクの適合度の関係を示している．横軸は、プルダウンメニューならびにサブメニューのラベルのタスク適合度の組み合わせに対応している．3本の線がプロッ

¹ LSAは<http://lsa.colorado.edu>に公開されている．

トされているが、それは、Bad のレベルに対応している。この実験では、被験者は 60 秒以内に何らかの操作を選択しなければならなかった。進展がない場合には実験者がヒントを与えた。したがって、図中もっとも右端のメニュー項目の組み合わせ(Bad, Bad)の場合に、被験者は自力で正しいメニュー項目を発見できなかったことを示している。また、中ほどの 2 パタンの場合は、Bad ラベルの場合にヒントが必要とされた可能性を示唆している。このような場合、被験者は、メニューバーのメニュー項目をスキャンし、プルダウンメニューを一通り評価する。そして、2 回目あるいは 3 回目のスキャンを行い、今度は、何らかのプルダウンメニュー項目を選択するか、もしくは、何も選択できずに実験者からのヒントを得てタスクを進行させる。

この実験から、ゴールの表現とオブジェクトの類似度が、ラベル追従ストラテジーの働く程度を示すよい指標になるということが明らかとなった。

3. ディスプレイベースのHCI の認知モデル

3.1 LICAI モデルによるラベル追従ストラテジーのシミュレーション

筆者らはラベル追従ストラテジーをシミュレートする認知モデルとして LICAI モデル²を構成した[5]。これを図 3に示す。LICAI モデルは、文章理解の認知モデルである Construction-Integration 理論[2]を核にして、ディスプレイベースのインタラクションを、以下のようなサブプロセスの系列としてモデル化している：

1. インストラクション理解過程：タスクを理解して、サブゴールを生成する。
2. ゴール選択過程：ディスプレイに表示されている情報に適合したサブゴールを選択する。
3. アクション選択過程：ディスプレイに表示されている情報をサブゴールの観点から理解し、ディスプレイ上のオブジェクトのなかからサブゴールに最も適合するものを選択する。そして、選択されたオブジェクトに対して実行可能な操作のなかからサブゴールに最も適合するものを選択する。

3.1.1 理解スキーマ

LICAI モデルでは、タスクの理解、インタフェースディスプレイの理解という 2 種類の「理解」が、重要となっている。文章を理解するときには、理解スキーマ (comprehension schema)を利用して目的に即して単語間の関連づけを行いつつ、単語に関する知識を記憶から呼び出して、文意を把握する。

² LInked Model of Comprehension-based Action Planning and Instruction Taking の略。

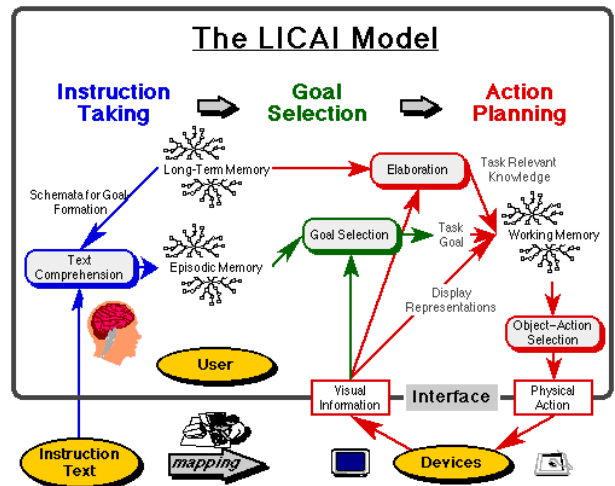


図3 LICAI モデルの概要[5]

Fig. 3 Outline of the LICAI model[5]

図 3において、ゴール生成スキーマ(schemata for goal formation)は、そのような理解スキーマのひとつである。ユーザは、これを利用して、タスクインストラクションやヒントを変形して GUI 上での操作選択に有用な表現を生成する。例えば、「出荷台数を月の関数としてプロットする」というタスクはゴール生成スキーマを用いて以下の 3 つのサブゴールに変換される：

- 折れ線グラフを新規に作成する
- 出荷台数を縦軸に割り当てる
- 月を横軸に割り当てる

このような表現の変換を行ってはじめてラベル追従ストラテジーが機能するようになる。ただし、ゴールが具体的にどのように表現されるかは非常に重要である。ゴールの表現が適切でないと、オブジェクト選択が正しく行えないことが LICAI モデルによるシミュレーションにより確かめられている[4]。

タスク、インタフェースディスプレイ、ユーザの知識が与えられれば、LICAI モデルに基づいてユーザ行動のシミュレーションを行うことができ、ラベル追従ストラテジーが有効に働くかどうかを調べることができる。

3.2 CoLiDeS モデルによる探索行動のシミュレーション

3.2.1 探索スキーマ

LICAI モデルでは、ラベル追従ストラテジーが有効に働く場合のシミュレーションは可能なものの、Soto[11]の実験によって示されたような、それがうまく働かない場合にユーザがとる行動のシミュレーションはできなかった。また、Rieman[10]の実験によって明らかとされたような探索行動を含むようなラベル追従行動のシミュレーションもできなかった。

そこで、本論文では、ディスプレイベースのインタラクションにおける探索行動発現のための理解スキーマと

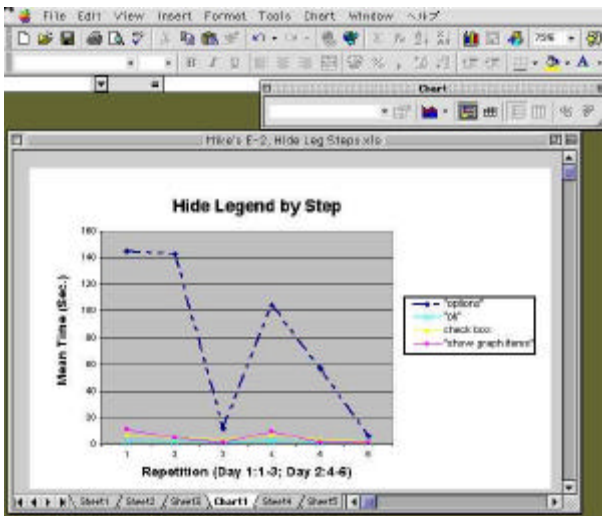


図4 「凡例を非表示にする」を実行するディスプレイ
Fig. 4 Interface display for the “Hide Legend” task



図5 Chart プルダウンメニューの外観
Fig. 5 Appearance of the Chart pull-down menu

して以下の探索スキーマを持つ CoLiDeS モデル³を提案する。これにより、ラベル追従行動を含めて、探索行動もシミュレートできる：

- (1) タスクゴールの表現に対応するラベルを持つオブジェクト(仮想オブジェクト)がディスプレイ上に存在すると想像する。
- (2) 仮想オブジェクトの存在を確信度 P で信じる。

このようにして、仮想オブジェクトも実在のオブジェクトとともに操作対象候補に含めて、LICAI モデルと同様にして操作対象の選択を行う。例えば、プルダウンメニューの項目を選択しようとしているときに、仮想オブジェクトが選択されれば、そのプルダウンメニューは捨てられ、次のメニューを選択して、新しいプルダウンメニューが開かれる。そこで、再び探索スキーマを利用してプルダウンメニューを理解することになる。

CoLiDeS モデルのもう一つの仮定は、ユーザはディス

プレイを階層的に表現し、操作対象の選択の際にはそのなかの一つの階層に含まれるオブジェクトを対象とするというものである。最上位の階層には、メニューバー全体、ツールバー全体、アプリケーションウィンドウ、デスクトップが含まれる。ユーザはそのなかの一つを選択し、その階層に属するオブジェクトを利用できるようにする。メニューバーが選択されれば、メニューバーの項目が次の階層を形成する。順次、プルダウンメニュー項目、サブメニュー項目がそれに続く。

3.2.2 探索ストラテジー

確信度が強い場合には、仮想オブジェクトが選択される傾向が強くなる。確信度が0の場合には、仮想オブジェクトが存在しないのと同値になるので、最もゴールとの適合度の高い実在のオブジェクトが選択される。

よく観察される探索パターンに、一旦メニューをスキャンした後、2 回目以降のスキャンで操作対象を選択するというものがある。これは1 回目のスキャンの際には大きめの確信度を設定して対象選択を行い以降のスキャンの際に確信度を緩和していくことによりシミュレートできる。

4. シミュレーション

CoLiDeS モデルによるタスクパフォーマンスのシミュレーションを Mathematica のプログラムとして実行することができるようになっている。本節では、「凡例を非表示にする(HIDE CHART LEGEND)」というタスクを Excel を用いて行う過程のシミュレーション結果を示し、CoLiDeS モデルの動きを説明する。なお、インタフェース階層(メニュー、ツールバー、アプリウィンドウなど)の探索についての説明は省略する。

図 4は、このタスクが実行される初期ディスプレイである。タスクは3 通りの方法で達成することができる。

- (1) メニューからコマンドを選択する、
- (2) ツールバーのボタンを使う、
- (3) アプリケーションオブジェクトを操作する。

ここでは、メニューベースのインタラクションをシミュレートする。ここで、正しい操作は、CHART OPTIONS を CHART メニューから選択することである(図 4, 図 5 参照)。いずれの項目も HIDE CHART LEGEND というゴールの表現とは完全には一致していないので、探索行動が発現することになる。

4.1 メニューバーからの選択

まず、メニューバーの項目を対象として、オブジェクトの選択が行われる。ユーザは、メニューバーに最終的なターゲットが存在することはないことを知っているのので、この段階では、探索スキーマを利用せずに、オブジェクト選択を行う。このとき、タスクゴールの表現との

³ Comprehension-Based Linked Model of Deliberate Search の略

表1 タスク表現とメニュー項目間の LSA による類似度
Table 1 Similarity values between the goal and the menu-bar items calculated by LSA.

	File	Edit	View	Insert	Format	Tools	Chart	Window	Help
HIDE CHART LEGEND	.06	.11	.1	.11	.19	.1	.74	.11	.24

表2 タスク表現と Chart プルダウンメニュー項目間の LSA による類似度

Table 2 Similarity values between the goal and the CHART pull-down menu items calculated by LSA.

	Chart Type	Source Data	Chart Options	Location	Add Data	Add Trendline	3D View
HIDE CHART LEGEND	.42	.17	.69	.23	.19	.23	.18

類似度が高いメニュー項目が選択される。表 1は、ゴールの表現とメニュー項目間の意味的類似度を示しているが、最もタスクゴールとの類似度が高い Chart メニューが選択される。

4.2 プルダウンメニューからの選択

図 5は Chart プルダウンメニューを示している。また、表 2はタスクゴールの表現とプルダウンメニュー項目間の類似度を示している。プルダウンメニューを選択する際には、探索スキームを利用して“HIDE CHART LEGEND”というラベルを持つ仮想オブジェクトを想像し、それを含めて、操作対象の選択を行う。

仮想オブジェクトを見いだす確信度を 5 として探索を行った結果を以下に示す：

オブジェクト名	ゴールとの適合度
実オブジェクト	
Chart Type...	0.237279
Chart Options...	0.256132
Location...	0.180722
Add Data...	0.202241
Source Data...	0.192804
Add Trendline...	0.192791
3D View...	0.174060
仮想オブジェクト	0.510036

ここで、数値は、それぞれのオブジェクトとゴールとの適合度を LICA1 モデルによって計算した結果である（詳細については、文献[5]を参照してほしい）。したがって、この場合には仮想オブジェクトが選択されることになり、このプルダウンメニューは閉じられることになる。

その後は、メニュー項目を順次、選択し、プルダウンメニューを開き、確信度 5 を用いて、オブジェクトの選択を行う。結局、どのプルダウンメニューも選択されないことになる。

2 回目のスキャンを開始するに当たって、確信度の値を緩和し、2 にセットする。結果は次のようになった：

オブジェクト名	ゴールとの適合度
実オブジェクト	
Chart Type...	0.336908
Chart Options...	0.363757
Location...	0.240838
Add Data...	0.289674
Source Data...	0.271285
Add Trendline...	0.267419
3D View...	0.229671
仮想オブジェクト	0.301583

結局、Chart Options が選択され、凡例に各種の設定を行うことができるダイアログボックスを開くことができる。

5. 考察

5.1 確信度の強度と探索行動の関係

ラベル追従ストラテジーが機能しない場合には、たとえ正しい選択対象がプルダウンメニューの項目として表示されていても、その場ではそれを選択せずに、2 回目と同じ場所を訪れた時に選択するという行動が観測されている。この行動は、仮想オブジェクトを選択対象に強制的に含めて、LICA1 モデルに基づいた選択過程を実行することでシミュレートできた。選択するかどうかは、仮想オブジェクトの存在をどの程度の強さで信じるかによって決まる。ユーザの探索行動は、誤った選択をできるだけ行わないようなものにチューニングされていると考えられるが、CoLiDeS モデルでは、それを、確信度の強度を適当に設定することによってシミュレートする。

シミュレーション例で示したようなメニューベースのインタラクションの場合には、メニューバーの項目が最終的に選択するオブジェクトになっていることはなく、それを選択することによって利用できるようになるプルダウンメニューやサブメニューに最終的に選択するオブジェクトが含まれている。従って、最初のメニュー選択の際には、そこに、タスクゴールとの適合度の高いラベルが見つかる可能性は小さいので、小さな確信度を設定するのが適当であろう。一方、プルダウンメニューやサブメニューを選択するときには、その結果として、実効のあるコマンドが発効されたり、実際の作業の場となるダイアログボックスが開くことになるので、慎重な選択が必要になる。そのことは、仮想オブジェクトを見いだす確信度を高く設定することによって実現できる。

ツールバーのボタンを選択することによってもタスクを遂行することができるが、この場合には、ボタンの選択が、メニューベースのインタラクションにおける最終的なメニュー項目の選択に相当するので、最初から高めの確信度を設定する必要がある。アプリケーションオブジェクトを選択する場合も同様である。

5.2 CoLiDeS モデルにおける探索の特徴

探索の方法として, depth-first, breadth-first がよく知られているが, CoLiDeS モデルは, それらとは違った best first 探索の認知モデルである. ここで“ best ”の評価はゴールの表現とディスプレイオブジェクトの表現の意味的類似度を基にして行われる. そして, 意味的類似度の評価は, 心理学的裏付けのある潜在意味分析 LSA に基づいて行われる.

5.3 ウェブにおける探索

本論文では, ディスプレイベースのアプリケーションにおけるメニュー選択を詳しく取り上げた. しかし, 同様な探索という現象は, ウェブ上で必要な情報を探索するという過程でも生じている. Hubermanら[1]は, 工科大学の学生がウェブサーフィングをする過程をモニターし, 1 サイトあたりユーザがサーフしたサイト数は3であるが, ユーザは多くの場合1ページしか要求していなかったことを見いだした. ウェブサーフィングにおいては, メニューベースのインタラクションやツールベースのインタラクションと違って, 求めている情報が, いつ, ディスプレイ上に表示されるかが予測できない. この結果は, CoLiDeS モデルにおいて, 中程度の強度の確信度を設定することによって, シミュレートすることが可能と思われる.

6. むすび

本論文では, ディスプレイベースのヒューマンコンピュータインタラクションにおいてユーザがしばしば利用するラベル追従ストラテジーがうまく機能しない場合に発現する探索行動をとりあげ, その過程の認知モデルとして CoLiDeS モデルを提案した.

タスクオブジェクトを探索し選択することは, タスクを遂行するために必要不可欠であり, ヒューマンコンピュータインタラクションのどのような局面にも現れる基本的な認知活動である. そして, その成否はタスクパフォーマンスの成否に直接関わる. また, 探索・選択が困難な場合には, 誤ったオブジェクトや誤った操作が選択される可能性が高くなり, タスクパフォーマンスの信頼性にも影響する. CoLiDeS モデルは, それらを取り扱うための基礎を提供している.

また, 近年, 重要さを増してきているウェブ上での情報検索においては効率よく必要な情報を獲得することが必要である. 本論文で提案した CoLiDeS モデルは, ウェブサーフィングにおいてユーザが示す行動をシミュレートできる可能性があり, 本論文で詳しく取り上げたメニューベースのアプリケーションにおいて作業をよりよく支援するインタフェースばかりでなく, ウェブ上

での情報獲得を効率よく支援できるインタフェースの提案を行うことが可能である. さまざまなインタラクションの局面をよりよく支援するための基礎として, さらに, CoLiDeS モデルを発展させていきたい.

参考文献

- [1] B.A. Huberman, P.L.T. Pirolli, J.E. Pitkow, and R.M. Lukose : Strong regularities in world wide web surfing, *Science*, **280**, 95-97, (1998).
- [2] W. Kintsch : *Comprehension: A Paradigm for cognition*, Cambridge University Press, (1997).
- [3] M. Kitajima and P.G. Polson : A comprehension-based model of correct performance and errors in skilled display-based, human-computer interaction, *International Journal of Human-Computer Studies*, **43**, 65-99, (1995).
- [4] M. Kitajima : *Model-based analysis of required knowledge for successful interaction with a novel display*, ICS-TR, **96-03**, Institute of Cognitive Science, University of Colorado, (1996).
- [5] M. Kitajima and P.G. Polson : A comprehension-based model of exploration, *Human-Computer Interaction*, **12**, 345-389, (1997).
- [6] M. Kitajima : Successful technology must enable people to utilize existing cognitive skills, *Humane Interfaces: Questions of method and practice*, in *Cognitive Technology*, J.P. Marsh, B. Gorayska, and J.L. Mey (Editors), Elsevier Science B.V., 307-325, (1999).
- [7] T.K. Landauer and S.T. Dumais : A solution to Plato's problem: The latent semantic analysis theory of acquisition, induction, and representation of knowledge, *Psychological Review*, **104**, 211-240, (1997).
- [8] A. Monk : Cyclic interaction: a unitary approach to intention, action and the environment, *Cognition*, **68**, 95-110, (1998).
- [9] P.G. Polson, C. Lewis, J. Rieman, and C. Wharton : Cognitive walkthroughs: A method for theory-based evaluation of user interfaces, *International Journal of Man-Machine Studies*, **36**, 741-773, (1992).
- [10] J.F. Rieman : *Learning strategies and exploratory behavior of interactive computer users*. Unpublished Doctoral Dissertation, University of Colorado, (1994).
- [11] R. Soto : Learning and performing by exploration: Label quality measured by latent semantic analysis, *Proceedings of ACM CHI'99 Conference on Human Factors in Computing Systems*, 418-425, (1999).