

ディスプレイベースの HCI の認知モデル - 適応専門知識の理論にむけて

A Cognitive Model of Display-Based Human-Computer Interaction – Towards a Cognitive Model of Adaptive Expertise

北島 宗雄

Muneo Kitajima

工業技術院生命工学工業技術研究所人間情報部心理情報研究室

Psycho-Informatics Laboratory, National Institute of Bioscience and Human-Technology, 1-1, Higashi, Tsukuba, Ibaraki, 305 Japan.

1995年3月14日 受理

Keywords: adaptive expertise, human-computer interaction, cognitive model.

Summary

This paper describes a computational cognitive model of display-based human-computer interaction based on the Norman's action theory. The model consists of goals, stages of evaluation, and stages of execution; in the former, the processes of generating display representation and its elaboration are included; and in the latter, the processes of selecting candidate objects for a next action and selecting an action-object pair are assumed. Execution of these processes is modeled with a symbolic-connectionist theory of adaptive expertise, the construction-integration theory of text comprehension, proposed by Kintsch (1988). The theory is contrasted with a family of theories for routine expertise, which characterizes quick and accurate problem solving behavior for familiar types of problems. However it has only modest capabilities in dealing with novel types of problems. This paper starts with a claim that the display-based human-computer interaction requires such adaptive expertise, in which an example HCI task is used for illustration. A brief explanation of the model of display-based HCI follows. The model has a distinctive feature that it can produce erroneous actions as well as correct actions even if the model is provided with sufficient knowledge for selecting correct actions and without assuming built-in knowledge for committing errors. The paper describes that it is due to the cognitive architecture, the construction-integration theory, assumed to execute the action selection processes.

1 まえがき

専門知識 (expertise) の認知理論の変遷を Holyoak [Holyoak 91] は次の3つの世代にまとめている。まず, Newell と Simon [Newell 72] に始まる第1世代では, 専門知識を高い問題解決 (探索) 能力と見なし, 専門家は少ない数の汎用で強力な経験的探索規則を用いて系列的に探索を行なうと考えられた。続く, 第2世代の理論では, 専門知識は豊富な How-to 知識 (手続き型知識) によって特徴付けられた。これは, 専門家は領域固有の豊富な知識をもっており, 汎用な探索知識によって特徴付けるのは適当でないという反省に基づいている。How-to 知識は系

列的なプロダクションシステムと呼ばれる認知機構の上で操作される [Anderson 83]。ここでは, 専門知識は「繰り返し行なうことを間違いなく速く実行できる能力」(ルーチン専門知識 (routine expertise) [Hatano 86]) と捉えられている。

第3世代の理論では, 専門知識のもう一つの重要な側面「初めて遭遇した状況であっても適切な行動をすばやく取ることができる能力」(適応専門知識 (adaptive expertise) [Hatano 86]) に焦点が当てられる。課題の変化に追従する柔軟性や, 新しい問題への適応性を実現する計算モデルの構成は, 三宅 [三宅 91] も指摘しているように, 現在の人工知能の研究の基本的な課題であるが, Holyoak [Holyoak 91] は適応専門知識の理論となりうるものとして「シンボリックコネ

クショニズム」を挙げている。これはプロダクションシステムのようにシンボル操作によって認知を扱う理論と、ネットワークによって知識を表現するコネクショニズム [Rumelhart 86] を折衷した理論であり、次に示す点により適応性がモデル化されている。

- (1) ネットワークのノードの間の関係はウェイトによって表現され、その値を決定するのに非常に一般的な条件（例えば表現の間の類似度）が用いられる、
- (2) ネットワークは永久に保持されるものではなく問題解決を行なう間だけ、一時的に構成され、保持される、
- (3) ネットワーク生成過程は、文脈的には矛盾する事柄も含まれるという意味から「いい加減」である。矛盾点を除去し適切な解釈の選択をするために、ネットワーク内のリンクを通して隣接するノードに活性値を伝播させ、これを何サイクルか繰り返すことにより得られるネットワークの定常状態により、この一時的に構成されたネットワークにおける解釈結果が表わされる。

本論文では、適応専門知識が要求される領域の一つとして、ディスプレイを介した人間と機器とのインタラクションが位置付けられることを示し、既に提案しているディスプレイベースの HCI (Display-Based Human-Computer Interaction) の認知過程のモデル [Kitajima 92, Kitajima 94, Kitajima 95] を用いて、適応専門知識の利用に係る人間のパフォーマンスの特徴を、専門家ユーザが犯すエラーの観点から、ルーチン専門知識を利用する場合との比較を通して明らかにする。

ディスプレイベースの HCI は、オフィスオートメーションに広く浸透しつつあるばかりでなく、航空宇宙技術、原子力技術等においても、次世代のコントロールパネルとのインタラクションのスタイルとして有望視され、ディスプレイへの有効な情報呈示方式に関する研究が進められている [e.g. Hughes 95]。これらの産業分野においては、ディスプレイベースの HCI における適応専門知識の利用過程を理解することは、オフィスオートメーションの高信頼性、高効率化を達成したり、航空機等の事故につながりかねない事態の発生を未然に防止できるインタフェース設計をするための基礎的知見が得られるなど、非常に大きな意義がある。

本論文は次のように構成されている。2では、ユーザがグラフィカルユーザインタフェース (Graphical User Interface; GUI) を利用してタスクを実行する過程、ディスプレイベースの HCI には適応専門知識が要求されることを例を用いて示す。次に、3では、既に

Polson, Muncher, and Engelbeck (1986), Group 1

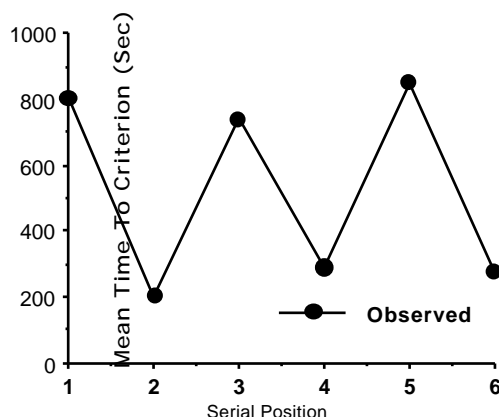


図 1 Cricket Graph タスク

提案しているディスプレイベースの HCI の認知モデル [Kitajima 92, Kitajima 94, Kitajima 95] について概説する。4では、適応専門知識の利用においてエラーが発生する仕組みについて、第 2 世代のルーチン専門知識の理論が与えるものと比較しながら説明し、適応専門家の犯すエラーの特徴を明らかにする。

2 ディスプレイベースの HCI と適応専門知識

GUI を利用してタスクを遂行する過程は、ディスプレイベースの HCI の代表的な場面である。GUI の基本的概念は WIMP (Windows, Icons, Menus, Pointing device) と呼ばれているが、この概念の上に、デスクトップメタファを用いて、机の上のような環境をディスプレイの上に実現して、その上で、アイコンやウィンドウの中に表示された対象をマウスでポイントし、作業を進める直接操作方式 [Hutchins 86] は、その代表例である。人間は、非常の多くの情報が凝集されている視覚情報の中から、状況に応じて最も必要とされる情報に注意を向け、それを利用して次に行なうべきアクションの選択を行なっている。GUI は、人間のこの優れた特性を積極的に利用しようという試みである。タスクが常にあらかじめ決められた筋書通りに進展することは前提とされておらず「初めて遭遇した状況であっても適切な行動をすばやく取ることができる」という適応専門知識に負う所が極めて大きいと言える。

さて、ここで、仮想的な専門家ユーザが GUI とインタラクションしながらタスクを遂行する過程を見てみよう。仮想専門家ユーザは、このタスクを、与えられた GUI で遂行することに関して必要な知識を有しているとする。その表現方法、処理過程については次節で述べる。

ユーザにタスク、

ファイル “Example Data” から図 1 に示し

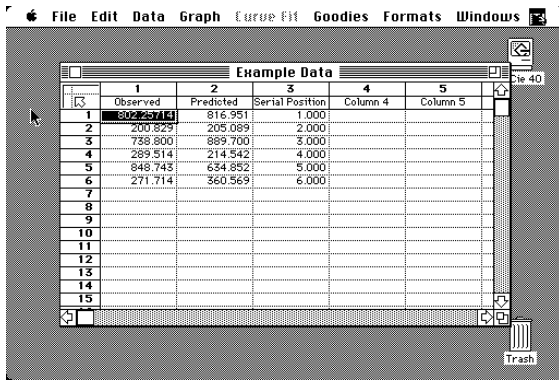


図 2(a) “Example Data” をダブル・クリックしてデータの収まっているファイルが開かれたようす。

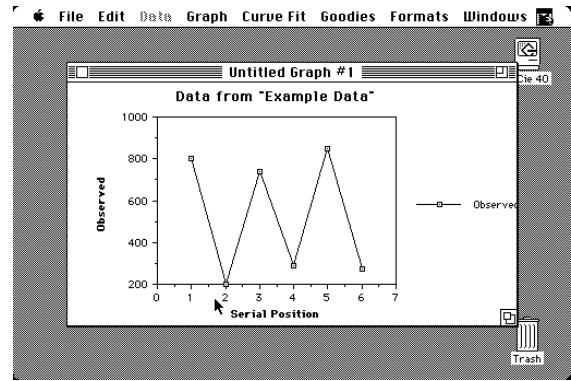


図 2(d) 標準の折れ線グラフが表示されているようす。

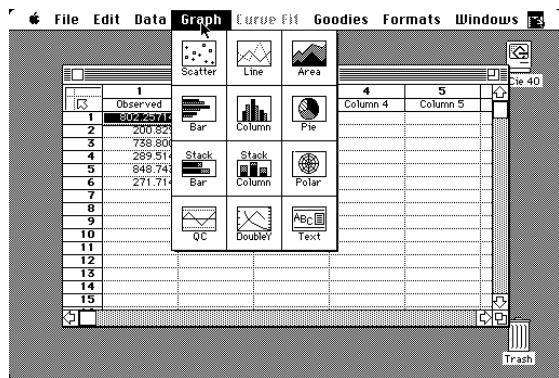


図 2(b) Graph メニューがプルダウンされたようす。

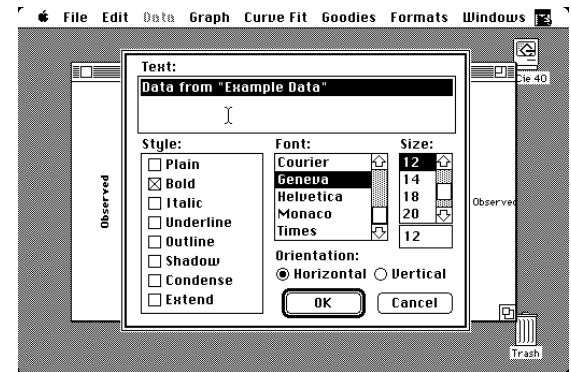


図 2(e) グラフのタイトルを編集するためのウィンドウが表示されているようす。

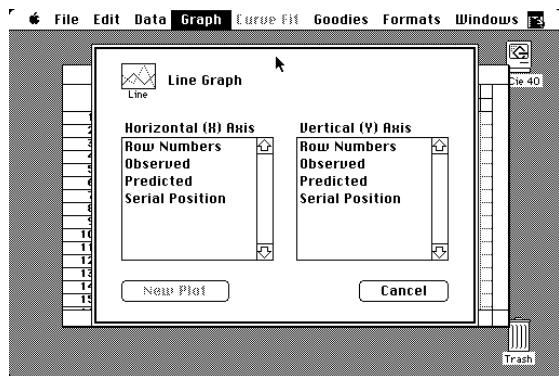


図 2(c) 変数選択のためのダイアログボックスが表示されているようす。

たようなグラフを作成する

が与えられたとする。ユーザは Macintosh のグラフ作成ツールのひとつである Cricket Graph を利用してこのタスクを遂行する。タスクは、通常、ユニットタスクに分解できる [Card 83] が、この場合も、次のようなサブタスクに分解して実行されるとする。

タスク1: “Serial Position” を X 軸, “Observed” を Y 軸として折れ線グラフを描く。

タスク2: グラフのタイトルを編集する。

タスク3:

ユーザがまず最初に行なうことは、“Example Data” アイコンをダブルクリックしファイルを開くことである。これによりデータを納めたスプレッドシートが表示される。また、同時に、Cricket Graph の作業環境に入ることができる (図 2(a))。

この状態から出発して、サブタスク 1 は、例えば、次のようなアクション系列により遂行される。なお、以下では、 に続いてディスプレイの状態の変化を示している。

ステップ 1: マウスイカーソルを Graph メニューに移動。

ステップ 2: マウスボタンを押す。

図 2(b) に示すプルダウンメニューが表示される。

ステップ 3: マウスイカーソルを Line に移動。

ステップ 4: マウスボタンを放す。

図 2(c) に示す変数選択ダイアログボックスが表示される。

ステップ 5: マウスイカーソルを X 軸選択リストの項目, Serial Position に移動。

ステップ 6: マウスボタンを 1 回クリック。

ステップ 7: マウスイカーソルを Y 軸選択リストの項目,

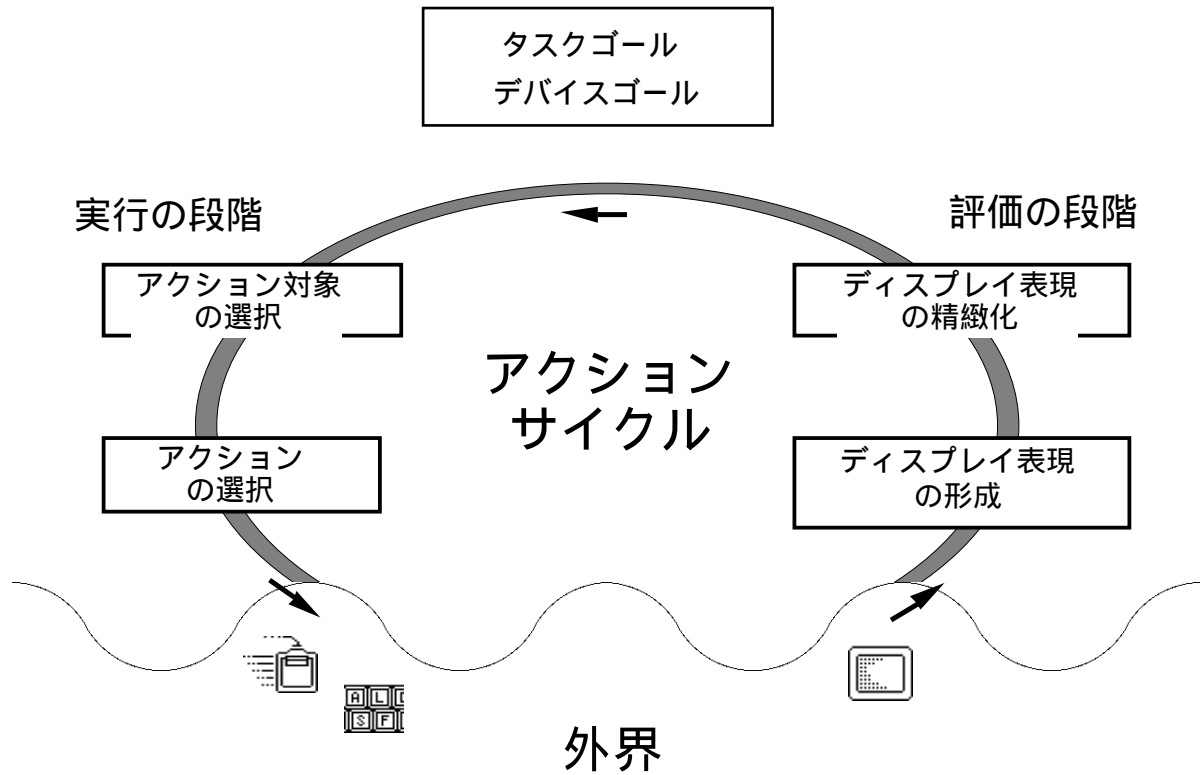


図3 ディスプレイ・ベースのHCIの認知プロセスモデル [Kitajima 95].

Observed に移動.

- ステップ 8: マウスボタンを 1 回クリック.
- ステップ 9: マウスカーソルを New Plot ボタンに移動.
- ステップ 10: マウスボタンを 1 回クリック.
 図 2(d) に示す標準の折れ線グラフが表示される.

これに続き、サブタスク 2 が、例えば、次のように遂行される.

- ステップ 11: マウスカーソルを Data from "Example Data" (グラフタイトル) に移動.
- ステップ 12: マウスボタンをダブルクリック.
 図 2(e) に示すグラフタイトル編集用のウィンドウが表示される.

ここでは、2 つのサブタスクの実行の様子を、ディスプレイの変化と共に例示した。ユーザのアクションによりディスプレイは大きく変化し、その新たなディスプレイがユーザのアクション選択の場を定義し、そして、そこで与えられる情報を利用して次のアクションが選択されることを見る事ができる。

Mayes ら [Mayes 88] や Payne [Payne 91] は、ユーザがディスプレイベースのタスクを遂行する過程の実験的研究により、ユーザがタスク遂行中の詳細なステップやディスプレイ情報を再生することができ

ないことを見出ししている。このことは、ユーザがタスク実行前に予めプランしたアクション系列に基づいてタスクを遂行しているのではなく、アクションの実行によって変化するディスプレイ情報に柔軟に追従して、適応的にアクション選択を行っていることを示している。プルダウンメニュー (図 2 (b)) , 変数選択のダイログボックス (図 2(c)) , 標準の折れ線グラフ (図 2(d)) , グラフタイトル編集用のウィンドウ (図 2(e)) といったディスプレイは次のアクションを適応的に選択するための文脈を与えている。このことから、ディスプレイベースの HCI には、適応専門知識が要求されることがわかる。

3 ディスプレイベースの HCI の認知モデル

図 3 はディスプレイベースの HCI の認知モデルとして Kitajima と Polson [Kitajima 92, Kitajima 94, Kitajima 95] が提案しているモデルを示している。本モデルは、まず、ユーザのアクション選択過程を HCI の一般的枠組みである Norman [Norman 86, Norman 88] のアクション理論の枠組みに基づいてモデル化している。

以下が、その主要要素である。

- .. ゴール (goal) ; 達成されるべきものであって、しばしばあいまいな形で言及される。
- .. 外界 (world) ; ユーザのアクションに応答す

る表示デバイス等からなる外部世界。

- ・ 評価の段階 (*stage of evaluation*) ; 現実が起こったことと起こってほしいこと (ゴール) との比較。
- ・ 実行の段階 (*stage of execution*) ; 外界に対して行ったこと。

本モデルでは、さらに、ディスプレイベースの HCI を文章理解過程に類する過程とみなし、Norman のアクション理論における評価の段階、及び、実行の段階を司る認知機構のモデルとして文章理解の認知理論である Kintsch [Kintsch 88] の構成・統合理論 (the construction-integration theory) を適用している。構成・統合理論はシンボリックコネクショニズムの理論の一つであり、文章理解過程を、ネットワークの構成過程、統合過程の 2 つの過程でモデル化する。まず、文章が入力されると、一時的に関連する知識が長期記憶から活性化されネットワークが構成される (構成過程)。このとき、ネットワークにとりこまれる知識には、文脈に関連する情報ばかりでなく、冗長、矛盾、無関係な情報も含まれている。文脈に合致した文章の解釈は、このネットワークに活性を何回か伝播させる (統合過程) ことによって得られる定常パターンによって表現される。

以下に、ディスプレイベースの HCI の認知モデル [Kitajima 92, Kitajima 94, Kitajima 95] の概略を述べるが、適応専門知識の利用の観点から新たに加えた考察を適宜加えていく。

3-1 タスクゴールとデバイスゴール

本モデルでは、専門家ユーザはタスクを、タスクゴール (task goal) とデバイスゴール (device goal) という 2 種類のゴールによって階層的・図式的に表現していると仮定している。この仮定は、Payne ら [Payne 90] が提案している、Yoked State Space Hypothesis に基づいている。即ち、ユーザがタスクを遂行する方法を発見する過程には 2 つの問題解決空間の中の探索が関与しているという仮定である。ひとつは可能なタスクの状態を要素とする問題解決空間、タスク空間、であり、他方は可能なデバイスの状態で定義されるデバイス空間である。あるデバイス空間の状態の組を達成することが、それに対応するタスク空間の状態を達成すること、即ち、タスクを達成することと考える。なお、これらの問題解決空間の表現方法、タスクゴール、デバイスゴールの選択等の過程は、本モデルでは取り扱われていない。

タスクゴール、及び、それに関連するデバイスゴールが与えられたときの、次アクション選択過程のモデルを、以下に説明する。

3-2 評価の段階

3-2-1 ディスプレイ表現の形成 (generation of display representations)

モデルは、先行するアクションによってディスプレイの表示内容に変化があったときに、その知覚レベルの表現を形成する。図 2 はそのような場合に対応する。ディスプレイ表現には、対象が何であるか、という対象のアイデンティティに関する表現と、対象の見え方、アピアランスに関する表現のみが含まれる。

例えば、図 2(a) のメニューの 1 つの項目である Graph に対して、アイデンティティとして、例えば、

Graph はメニューの項目である

Graph は操作可能なオブジェクトである

が、また、アピアランスとして、

Graph はポイントされていない

Graph はハイライト表示されていない

がある。

ディスプレイ表現は知覚レベルの表現なので、対象に対してどのようなアクション (ドラッグ、ダブルクリック等) が可能なのか、他の対象とどのような関係を持つのか、といった知識が何も含まれていないのが特徴である。本モデルでは、対象の意味に関する知識は、ユーザの知識が係わってはじめて利用可能になると仮定している。

3-2-2 ディスプレイ表現の精緻化 (elaboration of display representations)

ディスプレイ表現の精緻化過程は、皮相的なディスプレイ表現を長期記憶に蓄えられている知識を検索し、活性化することにより精緻化する過程である。

長期記憶には、例えば、Graph メニュー項目に関連して、

Graph はプルダウンできる

Graph はテキストではない

Graph がプルダウンメニュー Line Graph を持っている

などの知識が格納されている。これらのうちのいくつかは以下に述べるランダムサンプリング過程により検索・活性化され、ディスプレイ表現、タスクゴール、デバイスゴールとともにネットワークを構成し、これに続く実行の段階における諸過程の基礎を与える。

知識の検索・活性化過程は、Kintsch [Kintsch 88] の構成・統合理論のネットワーク構成過程に用られている Raaijmaker と Shiffrin [Raaijmaker 81] の記憶検索モデルに基づいている。即ち、現在のディスプレイ表現、タスクゴール、デバイスゴールを検索の手掛か

りとして、各々の手掛かりが 1 回の記憶検索過程で長期記憶からある知識を検索・活性化する確率が、それらの間のリンクの相対的な強さに比例すると仮定する。式で表現すると、手掛かり情報に対応するノード P_i が他のノード P_j を検索・活性化する確率 $P(P_j | P_i)$ は、

$$P(P_j | P_i) = \frac{W_{P_i, P_j}}{\sum_k W_{P_i, P_k}}$$

で与えられる。ここで、 W_{P_i, P_j} 0.0 はノード P_i と P_j の間のリンクの強度である。

ノードの結合の基本的な機構を簡単に説明する。モデルは、ゴール、ディスプレイ、長期記憶に格納されている知識を命題で表現している。例えば、ディスプレイ表現 “Graph はメニューの項目である” は、Graph に対して任意に与えられたシンボル Object-X を用いて、

(isa Object-X Menu-Item)

のように表わされる。このように表現されるノード間は、アーギュメントオーバーラップ機構 (argument overlap mechanism) によって結合される。この機構は、Kintsch と van Dijk の文章理解モデル [Kintsch 78] で用いられている原理であり、2 つの命題表現されたノードが共通のアーギュメントを持つとき、ある一定の強度の結合 (アーギュメントオーバーラップウェイト) が与えられるとするものである。例えば、このディスプレイ表現と、“Graph がプルダウンメニュー Line Graph を持っている” という長期記憶に格納されている知識、

(has Object-X Line-Graph)

は、共通のアーギュメント Object-X を介して結合される。

ディスプレイベースの HCI の認知モデルでは、精緻化過程において、上記のような記憶検索過程を何回か繰り返す。その回数は、精緻化パラメタによって制御されている。検索される知識には、ディスプレイされている対象間の関係、それらとタスクゴール、デバイスゴールとの関係、またそれらの属性 (アフォーダンス等) が含まれ、これらの知識によってディスプレイ表現が精緻化される。この「精緻化されたディスプレイ表現」は、現在のタスクにおいてモデルが与えるディスプレイの評価ということができ、タスクの文脈を定義している。この評価は、たとえ、ディスプレイ表現、タスクゴール、デバイスゴール、長期記憶の内容が同一であっても、シミュレーションの度に異なる可能性がある。

3-3 実行の段階

実行の段階では、アクションを行う対象の選択と、アクション自身の選択が行われる。どちらも、評価の段階で構成されたネットワークを基にして、その上に活性値を伝播させる統合過程を経て、現在のディスプレイの評価に最も合致した選択が行われる。

3-3-1 アクション対象の選択 (selection of candidate objects)

実行の段階では、モデルはまず、ディスプレイ上に表示されている数十の対象の中から、注意を向けるべき数個の対象を選択する。次のアクションを行う対象はこれら候補の中から選択される。

対象候補の選択過程では、タスクゴール、デバイスゴール、ディスプレイ表現、長期記憶から検索されてきた知識、及び、新たに追加される対象候補ノードを要素とするネットワークの結合・統合が行われる。ここで、対象候補ノードとは、あるディスプレイ上の対象が操作対象となることを表現するノードである。

ネットワークの結合は、先に説明したアーギュメントオーバーラップ機構を基本としているが、さらに、専門家ユーザのゴールに対する注意の程度を制御するために、ゴールからのリンクに乗じるパラメタ (注意パラメタ) が導入されている。

このようにして結合されたネットワークにゴールとディスプレイ表現を活性源として活性値を伝播させることにより、ネットワークを統合し、最も大きな活性値を持つ対象候補ノード、数個、を選ぶことにより、対象候補の選択が行われる。

速く、かつ (殆ど) 正しい操作選択として特徴づけられる専門家ユーザの正常なパフォーマンスをシミュレートするためには、4.0 のアーギュメントオーバーラップウェイト、16.0 の注意パラメタ、20 程度の精緻化パラメタが必要であることがわかっている [Kitajima 94, Kitajima 95]。

適応専門知識の利用の観点から、正しく対象候補を選択するのに必要な条件について考察する。それには 2 つの要素が関係する。ひとつは注意パラメタの大きさである。正しい操作対象は必ずゴールと何らかの関連を持っているので、十分な大きさの注意パラメタを設定することにより、正しい操作対象を含むゴールに関連した部分を選択的に活性化することができる。

第二の要素は、ゴールと対象候補ノードの間に介在する知識ノードの数である。ゴールと対象候補ノードが直接アーギュメントオーバーラップ機構によって結合されないとき、ゴールからの活性は、互いにアーギュメントオーバーラップ機構により結合されている介在知識を経由して対象候補ノードにたどり着く。注意パラメタの値が大きいほど、また、介在知識の必要性が少ないほどゴールに関連したノードに多くの

活性が流れて、確度の高い候補選択が行われる。また、介入知識が必要な場合には、それに加えて精緻化パラメタを大きくして介入知識が検索されてくる確率を高くする必要がある。

3-3-2 アクションの選択 (selection of cognitive action)

モデルはアクションを“何に、何をするために、何をする”というように表現している。たとえば、マウスカーソルを移動するというアクションの一つは、

プルダウンメニューを利用するために、マウスカーソルをメニュー項目 File に移動する

のように表現されている。なお、グラフ作成タスクのシミュレーションでは、

- (1) マウスカーソルを移動する、
- (2) マウスボタンを 1 回クリックする、
- (3) マウスボタンを 2 回クリックする、
- (4) マウスボタンを押し続ける、
- (5) マウスボタンを放す、
- (6) タイプする、

という 6 種類の物理的なアクションを基にして 18 種類のアクションを定義している。

これらのアクションの各々に、アクション対象候補の各々を組み合わせて産み出されるアクション（アクションノード）の全てを、タスクゴール、デバイスゴール、ディスプレイ表現、長期記憶から検索されてきた知識に付加してネットワークを構成し、ゴール、ディスプレイを活性源としてネットワークを統合し、アクションの選択を行う。ネットワークの結合は対象候補の選択の場合と全く同様になされるので、アクションノードがネットワークの統合の結果、最終的に獲得する活性の値は、対象候補選択過程とまったく同様に、注意パラメタの大きさ、及び、介入知識の多寡、が大きく関与する。

アクションの選択に当たって、モデルは、高い活性が得られたアクションノードから順に、そのアクションが実際に現在のディスプレイで実行できるかを確かめる。モデルはアクションをプロダクションのように表現していて条件部を持っている。条件の適否は精緻化されたディスプレイ表現に基づいて判定される。条件のある部分はスクリーン上に存在し、ディスプレイ表現によって直接満足されるが、他のものは精緻化過程において長期記憶から検索されてこなければならない。

例えば、「ドキュメントアイコンを編集するためにダブルクリックする」というアクションを選択するためには、条件「マウスカーソルがそのドキュメントアイコンをポイントしている」「そのドキュメントアイコンはダブルクリックできる」が精緻化されたディス

プレイ表現に含まれていなければならない。前者は、ディスプレイから直接得られるが、後者は長期記憶から検索されてくるものである。もし、条件に合致する情報が精緻化されたディスプレイ表現から欠落している場合には、モデルは正しいアクションを行うことができない。大きな精緻化パラメタを仮定することにより検索ミスに起因するエラーを減らすことができる。

4 適応専門家の犯すエラー

本モデルの特徴は、ディスプレイベースの HCI を「非常に低いレベルのアクションを生成するサイクルの繰り返し」によって捉えている点である。第 2 世代の標準的な専門知識のモデル [Anderson 87, Bovair 90, Newell 90] では、これとは対照的に、専門家の行動を「一連のアクション系列に関する詳細な正しい知識の選択」によって特徴付けている。

この基本的な考え方の違いにより、エラーに対する説明も大きく異なってくる。例えば、ACT* [Anderson 83, Anderson 87] や SOAR [Newell 90] のような理論によれば、学習の初期の段階では行動は本質的に問題解決行動であり、学習の積み重ねにより正しい行動系列がプロダクションルールの形式で長期記憶に蓄積されるとしている。専門家は、初心者が習熟した状態として位置づけられ、そのパフォーマンスの特徴は、長期記憶に完備された正しい規則と、それが確実に検索されるということにある。従って、専門家のエラーの説明は、「正しい規則が偶然に適用されないようにする仕組みを認知機構に仮定し、また、そのときに適用される誤った規則を専門知識に組み込む」ことによってなされる [Brown 80]。

一方、本モデルによれば、専門家ユーザが定型的なタスクにおいて非常に多くのエラーを犯す [Card 83] ことの非常によい説明を、全く別の観点から与えることができる。まず、専門家ユーザであるから、タスク空間、デバイス空間を含め、正しいアクションを選択するのに十分な知識を持っていると仮定できる。また、本モデルのシミュレーション実験 [Kitajima 94, Kitajima 95] により、高い確率で正しいアクションを選択するには大きな注意パラメタが必要なことが分かっている。この仮定をすることにより、介入知識が必要とされる場合を含め、精緻化パラメタが大きい場合に高い確率で正しいアクションを選択する専門家ユーザをシミュレートできる。

本モデルでは、このような場合でも、精緻化の過程で得られるディスプレイ表現が、不完全、不正確な場合にエラーが発生する。ユーザがおかれている状況により、精緻化の程度は深くもなり、浅くもなる。例えば、タイムプレッシャーが非常に厳しいときには、そ

のレベルは浅くなることが予想される。精緻化過程は本質的に記憶検索過程であるから、その時間は検索のための記憶走査の回数に比例する。従って、深い精緻化には時間を要することになるが、また、そうすることにより、重要な知識が見逃されない確率も増加することになる。深い精緻化により、タスクに関連した知識が幅広く、介在知識も含め、検索され、正しいアクション対象の選択、正しいアクションの選択の確率が上がることになる。逆に、精緻化に時間をかけなければ、エラーの確率が増大することになる。

精緻化過程に起因するエラーは、その深さばかりでなく、ディスプレイに表示されている情報にも依存する。アクションを実行するのに欠くことのできない重要な知識のよい検索手掛かりを与えないようなディスプレイが与えられた場合には、たとえ、正しい知識を持っていたとしても、そのへだたりを埋める介在知識の検索ミスによりエラー発生の確率が増大する。

本モデルでは、エラーという言葉で、第2世代のモデルが主張する「誤ったアクション知識としてのエラー」とは異なり、不完全な文脈においては最も適当なアクションとして選ばれたアクションが、完全な文脈に基づくアクションとは異なっている現象をさしている。そして、正しいアクションを産み出すのと全く同じ知識と認知過程が、ディスプレイの理解の深さに依存して、このようなエラーをも引き起こす。適応専門知識の利用に係るエラーを「ディスプレイの誤解に基づく“正しいアクション選択”」と考えている。

5 むすび

本論文では、ディスプレイベースのHCIで示される人間のパフォーマンスが適応専門知識の利用によって捉えられることを示し、その過程の認知モデル [Kitajima 92, Kitajima 94, Kitajima 95] に基づいて、そのパフォーマンスの特徴を明らかにした。その結果、対象候補の選択過程、アクションの選択過程において、ゴールに対する注意の程度を表現する注意パラメタ、ゴールと正しい対象候補ノード、またはアクションノードの間に介在する知識の多寡がエラーの発生しやすさに関与することを示した。また、介在知識や条件の長期記憶からの検索の信頼度は、検索の回数を規定する精緻化パラメタの大きさに依存する。

さらに、ルーチン専門知識の利用との対比を行うことにより、適応専門知識の利用に係るエラーの特徴について、エラーが、予め格納されている誤った知識の適用ではなく、ディスプレイ精緻化過程によって構成されたネットワークに基づく最良の解釈の結果となっていることについて述べた。

以上の結果から、適応専門知識の利用によって特徴づけられるインタラクションの信頼性を向上させる

ための示唆を得ることが期待される。特に、専門家ユーザが使うインタフェース設計の評価を、タスク、ディスプレイ、長期記憶に格納されている知識、及び、精緻化パラメタ、注意パラメタに影響を与えるタイムプレッシャー等の環境要因、の相互の関係において、例えば、どのような状況のときに、どのようなエラーを犯しやすいかという予測を行うことが可能となる。現在、ディスプレイベースのHCIの心理実験結果 [Franzke 95] を分析しながら、上記の予測の可能性について研究を進めている。

今後の研究に残されている重要な課題に、適応専門知識の獲得の問題がある。シンボリックコネクショニズムに分類される試みには、構成・統合理論の他にも、アナロジー [Holyoak 89]、及び、説明生成 [Thagard 92] のモデルがあるが、適応専門知識を人間が獲得する過程のモデルは、未だ、開発されていない。本モデルでは、タスク空間、デバイス空間、それらの間のマッピング知識、ディスプレイ表現、長期記憶に格納されている知識、アクション表現、これらの知識が、インタラクションを通じて、または、マニュアル等を通じて獲得されることになるが、これらのモデル化は今後の研究課題である。

6 参考文献

- [Anderson 83] Anderson, J. R. : The Architecture of Cognition, Harvard University Press, Cambridge, MA (1983).
- [Anderson 87] Anderson, J. R. : Skill acquisition: Compilation of weak-method solutions, Psychological Review, Vol. 94, pp. 192-211 (1987).
- [Bovair 90] Bovair, A. S., Kieras, D. E. and Polson, P. G. : The acquisition and performance of text-editing skill: a cognitive complexity analysis, Human Computer Interaction, Vol. 5, No. 1, pp. 1-48 (1990).
- [Brown 80] Brown, J. S. and VanLehn, K. : Repair theory: A generative theory of bugs in procedural skills, Cognitive Science, Vol. 4, pp. 379-426 (1980).
- [Card 83] Card, S. K., Moran, T. P. and Newell, A. : The Psychology of Human-Computer Interaction, Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ (1983).
- [Franzke 95] Franzke, M. : Turning Research into Practice: Characteristics of Display-Based Interaction, In Proceedings of CHI 1995, ACM, (1995).
- [Hatano, 1986] Hatano, G. and Inagaki, K. : Two courses of expertise, In H. Stevenson, H. Azuma, and K. Hakuta Eds. Child development and education in Japan, pp. 262-272 (1986).
- [Holyoak 89] Holyoak, K. J. and Thagard, P. : Analogical mapping by constraint satisfaction, Cognitive Science, Vol. 13, pp. 295-355 (1989).
- [Holyoak 91] Holyoak, K. J. : Symbolic connectionism :

- toward third-generation theories of expertise, In K. A. Ericsson and J. Smith Eds., *Toward a general theory of expertise*, Cambridge University Press, New York (1991).
- [Hughes 95] Hughes, D. and Dornheim, M. A. : Automated Cockpit Special Report, *Aviation Week and Space Technology*, Vol. 142, No. 5-6, McGraw-Hill, NY (1995).
- [Hutchins 86] Hutchins, E. L., Hollan, J. D. and Norman, D. A. : Direct manipulation interfaces, In Norman, D. A. and Draper, S. W., Eds., *User Centered System Design*, pp. 87-124, Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ (1986).
- [Kintsch 78] Kintsch, W. and van Dijk, T. A. : Toward a model of text comprehension and production, *Psychological Review*, Vol. 85, pp. 363-394 (1978).
- [Kintsch 88] Kintsch, W. : The role of knowledge in discourse comprehension: A construction-integration model, *Psychological Review*, Vol. 95, pp. 163-182 (1988).
- [Kitajima 92] Kitajima, M. and Polson, P. G. : A computational model of skilled use of graphical user interfaces, In *Proceedings of the CHI'92 conference on human factors in computing systems*, pp. 241-249, ACM, New York (1992).
- [Kitajima 94] Kitajima, M. and Polson, P. G. : A comprehension-based model of correct performance and errors in skilled, display-based human-computer interaction, ICS Technical Report, No. 94-02, Institute of Cognitive Science, University of Colorado, Boulder, CO (1994).
- [Kitajima 95] Kitajima, M. and Polson, P. G. : A comprehension-based model of correct performance and errors in skilled, display-based human-computer interaction, *International Journal of Human-Computer Systems* (1995).
- [Mayes 88] Mayes, J. T., Draper, S. W., McGregor, M. A. and Oatley, K. : Information flow in a user interface: the effect of experience and context on the recall of MacWrite screens, In Jones, D. M. and Einder, R., Eds. *People and Computer IV*, Cambridge University Press, Cambridge, UK (1988).
- [三宅 91] 三宅芳雄: 理解と知識, *人工知能学会誌*, Vol. 6, No. 6, pp. 834-842 (1991).
- [Newell 72] Newell, A. and Simon, H. A. : *Human Problem Solving*, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey (1972).
- [Newell 90] Newell, A. : *Unified theory of cognition*, Harvard University Press, Cambridge, MA (1990).
- [Norman 86] Norman, D. A. : *Cognitive engineering*, In Norman, D. A. and Draper, S. W., Eds., *User Centered System Design*, pp. 31-61, Lawrence Erlbaum Associates, Hillsdale, NJ (1986).
- [Norman 88] Norman, D. A. : *The Psychology of Everyday Things*, Basic Books, New York (1988). (邦訳: 誰のためのデザイン? 認知科学者のデザイン原論, 野島久雄訳, 新曜社 (1990)).
- [Payne 90] Payne, S. J., Squibb, H. R. and Howes, A. : The nature of device models: The yoked state hypothesis and some experiments with text editors, *Human-Computer Interaction*, Vol. 5, No. 4, pp. 415-444 (1990).
- [Payne 91] Payne, S. J. : Display-based action at the user interface, *International Journal of Man-Machine Studies*, Vol. 35, pp. 275-289 (1991).
- [Raaijmaker 81] Raaijmaker, J. G. and Shiffrin, R. M. : Search of associative memory, *Psychological Review*, Vol. 88, pp. 93-134 (1981).
- [Rumelhart 86] Rumelhart, D. E. and MacClelland, J. L. : *Parallel distributed processing: explorations in the microstructure of cognition (2 vols.)*, MIT Press, Cambridge, MA (1986).
- [Thagard 92] Thagard, P. : Adversarial problem solving: Modeling an opponent using explanatory coherence, *Cognitive Science*, Vol. 16, pp. 123-149 (1992).

 著 者 紹 介



北島 宗雄 (正会員)

1978年東京工業大学物理学科卒業。1980年東京工業大学理工学研究科修士課程(物理専攻)修了。1980年通産省工業技術院製品科学研究所(現,生命工学工業技術研究所)入所。現在に至る。1991年コロラド大学リサーチアソシエイト。主任研究官。早稲田大学工学博士。その間,盲人用読書器の開発,人間と機械とのインタラクションの認知モデルの開発に関する研究に従事。日本ファジィ学会,ACM各会員。