

情報探索経験を通して獲得される知識に関する ACT-R モデルを用いた検討

Knowledge acquired via information search – Investigation with ACT-R model

松室 美紀[†], 三輪 和久[†], 寺井 仁[‡]

Miki Matsumuro, Kazuhisa Miwa, Hitohsi Terai

[†] 名古屋大学大学院 情報科学研究科, [‡] 近畿大学 産業理工学部情報学科

Graduate School of Information Science, Nagoya University

muro@cog.human.nagoya-u.ac.jp

Abstract

Recently, the information device has become complex and give us excessive information. In this study, we investigated “what users learn” through information search training. We tested the hypothesis that graphical UI users would acquire perceptual knowledge (the knowledge of the visual features of the display) rather than structural knowledge (the knowledge of how information is categorized). The results of the experiment showed that participants acquired little structural knowledge. Further, the computer simulation results indicated that structural knowledge was inadequate to explain the search patterns observed in the experiment. The model that had perceptual knowledge and partial structural knowledge was better able to explain the results of the experiment.

Keywords — Graphical user interface, ACT-R simulation, information search, perceptual information

1. はじめに

近年の技術の発達により、情報機器のインターフェースは大きく変化してきている。本研究では、ユーザがそのような機器を用い情報探索を行う際に、どのような知識を獲得し、利用しているかについて検討を行う。

情報やメニューは階層化されたカテゴリに分類され、ユーザに提示される [1]。先行研究においては、そのような階層構造を獲得することが、機器の操作の速さや正確さにつながる事が示されてきた [2, 3]。本研究ではこのような階層構造に関する知識を構造的知識と呼ぶ。構造的知識を用いた情報機器の評価等の先行研究が行われている [4]。

先行研究で用いられた情報機器の特徴として、情報

がテキストベースで提示されていることが挙げられる。そのため、機器の画面は色や形の変化に乏しく、記述された文字を手がかりに情報を探索する必要があった。さらに、探索は常にルートポジションから開始され、同一の操作により、同一の情報に到達することが可能であった。ルートポジションから情報への経路が記憶しやすく、それを元に構造的知識を構築することが可能であった。

しかし、情報機器は改良が進み、そのインターフェースも変化している。現在では、情報は文字だけではなく、アイコンやグラフなどの様々な形式で提示される [5, 6]。さらに、その位置も 1 列に並べられていたかつての機器と異なり、様々なレイアウトが研究されている [7]。それらの形式や形状、配置の改良は、テキストのみであったかつてのインターフェースと比較して、参加者が情報探索を行うための様々な手がかりを与える。また、情報へのアクセス方法も多様化し、同一のキー操作が必ずしも同一の情報へと導くわけではない。そのため、特定の位置から情報への経路が記憶困難であり、構造的知識が獲得しにくいと考えられる。

そこで、本研究では、ユーザはテキストベースの機器では得られなかった、情報の形式や形状、配置などの情報を手がかりとして情報探索を行っているのではないかと考え、検討を行った。これらの知覚的な手がかりに関する知識を以降では知覚的知識と呼ぶ。アイコン等の図的な情報は素早く処理され記憶されやすいとされていることから [5, 6]、知覚的知識はユーザが情報探索を行う上で有用な知識であると考えられる。実験とコンピュータシミュレーションの 2 つの手法により検討を行った。

2. 課題

ハイブリッドカーの走行に関する情報をドライバーに伝える情報機器を用い、目的の情報を探索する課題



図1 情報機器画面の例. エコウォレット履歴に含まれる情報が提示されている。矢印キーの操作により点線内に提示される情報が切り替わる。

を行わせた。使用した情報機器の画面例を図1に、階層構造の一部を図2に示す。

情報は文字(数字を含む)、アイコン、メータ、グラフを用い提示された。情報は大きくドライブインフォメーション(DI)とエコに分けられた。この2つのカテゴリを上位カテゴリと呼ぶ。情報はさらに複数の下位カテゴリに分けられ、同一の下位カテゴリに含まれる情報が、同時に画面に提示された。カテゴリの切り替えは矢印キーを用いて行われた。左右の矢印キーにより上位カテゴリの切り替えが、上下の矢印キーにより下位カテゴリの切り替えが行われた。また、各カテゴリの切り替えは循環的に行われ、最後のカテゴリの次は最初のカテゴリへと切り替わった。上位カテゴリを切り替えた際には、その上位カテゴリで最後に選択されていた下位カテゴリの情報が提示された。つまり、上位カテゴリを切り替えた際に提示される情報は、それまでの行動により異なった。

3. 実験

3.1 手続き

3.1.1 方法

名古屋大学の学部生36名が実験に参加した。

3.1.2 手続き

参加者は学習フェーズとして4問を1ブロックとして、計8ブロックの探索を行った。各問題で、参加者は表示された問題文を読み、その答えとなる情報(ターゲット)を情報機器を操作して探し出し、入力した。参加者は正しい回答が入力できるまで、探索を続けた。正答すると、新しい問題文が表示された。

4問で回答が求められたのはそれぞれ、現在の時速、総走行時間、現在のエコランキング、7月のお得金額であった。ブロック内での問題の順番はランダムに

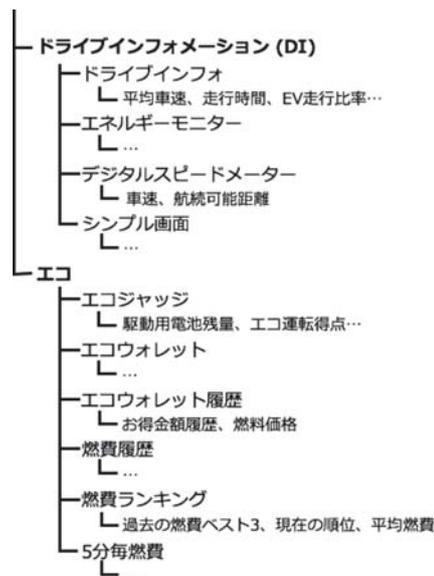


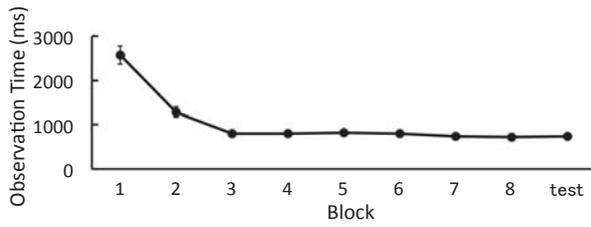
図2 実験に使用した情報機器における情報の階層構造。一部の情報は省略されている。太字が上位カテゴリ、普通の文字が下位カテゴリ、小さい文字が情報を示す。

設定された。また、各参加者、各問題ごとに情報の値(e.g., 時速)、探索の開始画面はランダムに設定された。8ブロックが終了した後、参加者はテストであることを告げられ、同様の4問の探索を行った。その際、各問題における探索の開始画面は全参加者で共通に設定された。

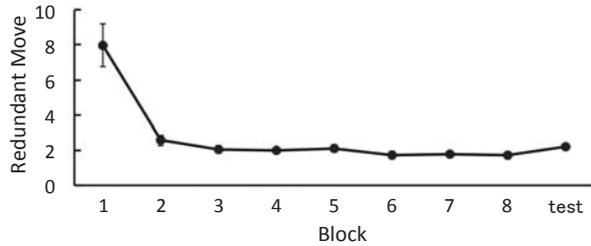
探索課題に加え、参加者の構造的知識の有無を調べるために、分類課題を行わせた。まず、参加者は、情報機器に含まれる実験者により選出された20の情報をDIとエコに分類した。その後、各上位カテゴリに分類した情報をさらに下位カテゴリに分類した。その際、実験者から下位カテゴリの数や名前は教示せず、参加者がカテゴリ数を自由に設定した。分類テストは学習テストの開始前(プレテスト)とテストの終了後(ポストテスト)に実施された。プレテストでは情報機器の分類を想像して、ポストテストでは課題中に使用した情報機器に沿って分類を行うよう教示した。

3.2 結果と考察

はじめに、全参加者は2ブロック目以降では、すべての問題で3分以内に正しい回答の記入を行った。参加者の探索の速さの指標として画面観察時間を用いる。画面観察時間は参加者ごとの1画面あたりの観察時間の平均を指す。また、探索の効率の指標として余



(a) 画面観察時間



(b) 余剰移動回数

図3 画面観察時間と余剰移動回数の推移. 一番右にテスト時の結果を併せて示す。

剰移動回数を用いる。余剰移動回数は、問題開始時の下位カテゴリからターゲットを含む下位カテゴリへの最短移動にかかるカテゴリの切り替え回数と、実際に参加者が行った切り替え回数の差の平均を指す。最短移動を行った場合は0となる。図3に各指標の遷移を示す。どちらもブロックの効果が有意に達し(画面観察時間 $F(8, 280) = 55.414, p < .001$; 余剰移動回数 $F(8, 280) = 21.436, p < .001$)、画面観察時間ではブロック1から3にかけて、余剰移動回数ではブロック1から2にかけて有意な減少が起こった ($ps < .05$)。参加者が探索に必要な知識を素早く獲得したことを示す。

図4に分類課題の結果を示す。得点は正しく分類できた情報の割合である。上位、下位カテゴリのそれぞれで2(テスト プレ、ポスト) × 2(カテゴリ DI、エコ)の分散分析を行った。その結果、上位、下位カテゴリ共にテスト要因とカテゴリ要因の交互作用

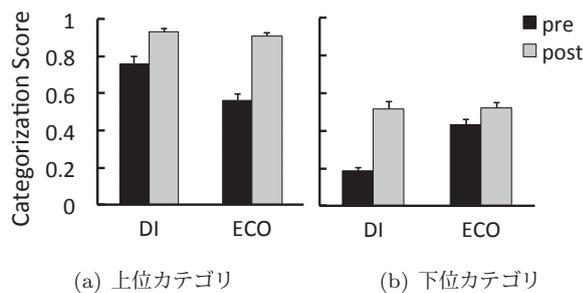


図4 プレ、ポストテストの分類テストの得点。

が有意であった(上位 $F(1, 35) = 8.461, p = .006$; 下位 $F(1, 35) = 13.425, p = .001$)。プレからポストテストにかけて、上位、下位カテゴリ共にDI、エコのどちらも得点の上昇が有意であった ($p < .05$)。また、上位、下位カテゴリ共に、テスト、カテゴリ要因の主効果が有意に達した(テスト要因 上位 $F(1, 35) = 12.537, p = .001$, 下位 $F(1, 35) = 29.679, p < .001$; カテゴリ要因 上位 $F(1, 35) = 97.768, p < .001$, 下位 $F(1, 35) = 47.138, p < .001$)。上位カテゴリに関しては、ポストテストにおいて非常に高い成績に達したことから、参加者がその構造知識を獲得したと考えられる。一方、下位カテゴリでは、得点の上昇は見られたものの、ポストテストでも低い点数にとどまった。そのため、下位カテゴリの分類に関する知識は十分には獲得されなかったと考えられる。

4. シミュレーション

4.1 ACT-Rモデル

コンピュータモデルはACT-R6.1を用いて作成された[8]。ACT-Rは人間の認知をシミュレートし理解するための認知アーキテクチャであり、複数のモジュールからなる。図5にその概要を示す。

ACT-Rは目(vision)や耳に相当するモジュールから現在の課題の状況を取得したり、手(motor)や口に当たるモジュールを用い課題に操作を加えることが可能である。また、procedural memoryとdeclarative memoryの2つの記憶を持つ。Procedural memoryには手続き的知識が含まれる。手続き的知識はもし~ならば(IF説)、~せよ(THEN説)というプロダクションルールの形で記述されている。一方、declarative memoryには“日本の首都は東京である”、“名古屋大学は愛知に存在する”のような事実が含まれる。課題の状況や想起された知識とプロダクションルールのIF説の照合が行われ、一致したルールのTHEN説が実行される。

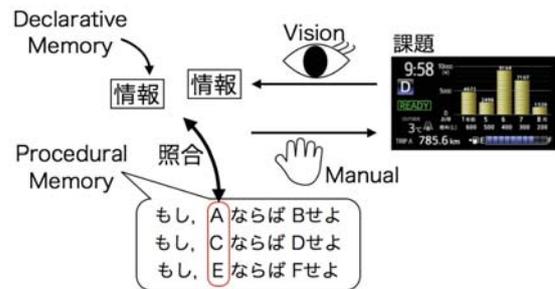


図5 ACT-Rの概要。

表 1 各モデルの持つ知識.

知識	SK model	PK model	Mix model
構造的	リンク知識 配置知識	なし	ターゲットカテゴリ知識
知覚的	なし	ターゲット画面知識 上位カテゴリ知識	ターゲット画面知識 上位カテゴリ知識
一般知識	意味知識	なし	なし

情報探索を通して獲得された知識を検討するため、3種類のモデルが作成された。Declarative memory に構造的知識を持つ Structural Knowledge model (SK model)、知覚的知識を持つ Perceptual Knowledge model (PK model)、両方の知識を併せ持つ Mix model である。表 1 に各モデルがもつ知識をまとめる。

SK model は図 2 に示した階層構造を再現可能な、各情報とカテゴリの関係に関するリンク知識が与えられた (e.g., 現在の時速はデジタルスピードメータに所属する)。また、各上位カテゴリで下位カテゴリがどのような順番で並んでいるかに関する配置知識が与えられた (e.g., エコウォレットはエコの 2 番目の下位カテゴリである)。これら 2 種類の知識は構造的知識である。さらに、探索に必要となる一般知識に対応する、アイコンや文字の意味に関する意味知識が与えられた (e.g., “TOTAL” の文字は総走行時間を意味する)。

PK model にはターゲットの情報が含まれる画面の特徴に関するターゲット画面知識を与えた (e.g., 7 月のお得金額はグラフのある画面に提示される)[9]。合わせて、画面の特徴とその所属する上位カテゴリの関係を表す上位カテゴリ知識を与えた (e.g., グラフのある画面はエコに所属する)。これら 2 種類の知識は知覚的知識である。Mix model には PK model の持つ 2 種類の知覚的知識に加えて、構造的知識であるターゲットカテゴリ知識を実装した。ターゲットの情報が含まれる上位カテゴリに関する知識である (e.g., 7 月のお得金額はエコに含まれる)。

4.2 各モデルの探索行動

各知識の内容に適した規則を実装した。各モデルの探索行動は以下のとおりである。各行動は複数の規則の発火からなる。

4.2.1 SK model

まず、ターゲットの情報を含む下位カテゴリとその上位カテゴリを想起する。続いて、課題画面に提示されている情報から現在の下位カテゴリを同定する。具体的には、画面上のテキスト、または、アイコンの内容から現在の下位カテゴリの候補を決定し、複数のテキストやアイコンに基づき、候補を 1 つに絞り込む。下位カテゴリの同定が完了したのち、その上位カテゴリを想起しターゲットの情報の上位カテゴリと比較を行う。もし、2 つの上位カテゴリが異なっていた場合は、上位カテゴリの切り替えを行い、再び現在の下位カテゴリの同定を行う。最後に現在の下位カテゴリとターゲットの情報の下位カテゴリを比較し、最小回数で目標の下位カテゴリへと切り替えを行う。

4.2.2 PK model

はじめに、現在の上位カテゴリを同定する。その後、ターゲット画面知識を想起し、現在の画面の特徴がターゲットの含まれる画面の特徴と一致するかを比較する。比較は、知識に含まれる特徴が現在の画面上に存在するかを確認することにより行われる。知識に一致する画面が見つかるまで、下位カテゴリの切り替えが行われる。途中、一度観察した画面に到達した (i.e., 片方の上位カテゴリ内のすべての下位カテゴリのチェックが終了した) 場合、上位カテゴリの切り替えを行う。

4.2.3 Mix model

ターゲットの情報の含まれる上位カテゴリの想起を行い、画面上の情報の形式や形状から現在の上位カテゴリを同定する。目標の上位カテゴリと比較を行い、必要に応じて、上位カテゴリの切り替えを行う。その後は、PK model と同様に、目標の下位カテゴリに到達するまで切り替えが行われる。

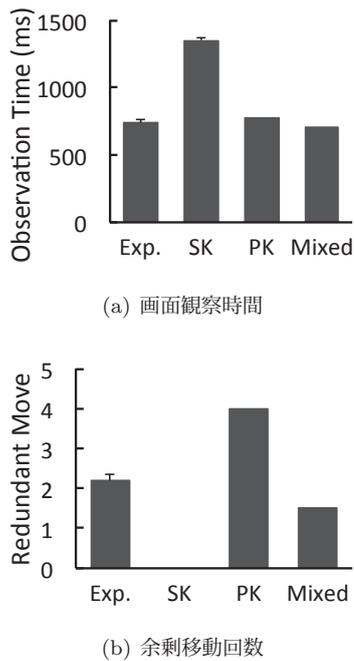


図6 実験と各モデルによる画面観察時間と余剰移動回数の結果。

4.3 結果

すべてのモデルで各問題につき36回ずつの探索を行わせた。各モデルおよび実験のテストにおける画面観察時間と余剰移動回数の結果を図6に示す。各モデルの結果と実験の結果の比較を行った。画面観察時間においては、SK modelのみ実験結果より観察時間が有意に長く ($t(70) = 19.569, p < .001$)、他のモデルには有意な差はなかった (PK $t(35) = 1.525, p = .136$; Mix $t(35) = 1.041, p = .305$)。なお、PK, Mix modelでは各問題36回の探索で、すべて同一のタイミングで同一の切り替えが行われたため、分散は存在しない。余剰移動回数に関しては、SK modelは実験結果と異なり余剰移動が1回も観察されなかった。PK modelでは実験結果より有意に多い ($t(35) = 10.119, p < .001$)、Mix modelでは有意に少ない余剰移動が観察された ($t(35) = 3.838, p < .001$)。また、PK modelでは実験で観察されなかった、ターゲットの情報を含まない上位カテゴリ内での、複数回の下位カテゴリの切り替えが生じた。

5. 総合考察

シミュレーションの結果、構造的知識と知覚的知識を併せ持つ Mix model が最も実験の結果と近い探索を行ったといえる。PK model は画面観察時間は実験結果と類似していたものの、下位カテゴリの切り替え

の方法に実験の結果と大きな違いがあった。これは、PK model が一切の構造的知識を持っていなかったため、すべての下位カテゴリをしらみつぶしに確認する必要があったことによる。この結果は、参加者が少なくとも上位カテゴリに関する構造的知識は獲得したことを示す。上位カテゴリの分類課題の得点が課題後にほぼ満点まで上昇していたことから、参加者が各情報がどちらの上位カテゴリに所属しているかを獲得していたことが示される。

SK model に関しては、実験結果とは大きく異なる探索行動となった。まず、構造的知識を完全に保持しているために、最短の切り替え系列を算出することが可能であり、余剰移動が行われなかった。この結果は、参加者が全体の構造的知識を獲得していないことを示している。さらに、画面観察時間が実験結果と比較して非常に長かった。これは、情報が図的に提示され、それが何の情報であるかというラベルが存在しなかったためである。SK model は画面上の文字やアイコンから情報の意味を読み取り、その所属する下位カテゴリを同定する。しかし、km 等の単位は異なる複数の情報に利用され、複数の下位カテゴリで画面上に提示されるため、下位カテゴリの候補を絞り込むことが困難である。そのため、SK model は画面観察時間が長くなってしまった。

しかし、SK model のこの結果は、本研究のインターフェースのテキスト情報の問題に起因するのではないかという疑義が残る。そこで、SK model が単一の下位カテゴリにのみ存在する、ユニークなテキストやアイコンをすぐに観察することができたと仮定する。その場合であっても、情報の符号化、意味の検索、カテゴリの検索が必要とされ、実験結果より観察時間は長くなると考えられる [10]。実際に、本研究のシミュレーションにおいて、そのような状況が生じた場合では1秒以上の画面観察時間が必要であった。

以上の点と PK model で画面観察時間については差異が確認されなかった点を併せて考えると、情報探索は主に知覚的な知識に頼って行われている可能性が高い。すべての情報の階層構造を獲得することは認知的負荷が大きいため、部分的な構造的知識を探索の労力の削減に使用し、獲得が容易である図的な情報を主に探索に利用するという効率的な方略が選択されたと考えられる。

6. 参考文献

参考文献

- [1] Jacko, J. A. & Salvendy, G., (1996) "Hierarchical menu design: Breadth, depth, and task complexity", *Perceptual and Motor Skills*, Vol. 82, pp. 1187-1201.
- [2] Ziefle, M. & Bay, S., (2006) "How to overcome disorientation in mobile phone menus: A comparison of two different types of navigation aids", *Human-Computer Interaction*, Vol. 21, pp. 393-433.
- [3] Ziefle, M. & Bay, S., (2004) "Mental models of a cellular phone menu. Comparing older and younger novice users", *Mobile Human-Computer Interaction-MobileHCI*, (pp. 25-37). Heidelberg: DE: Springer Berlin.
- [4] Amant, R. S., Horton, T. E., & Ritter, F. E., (2007) "Model-based evaluation of expert cell phone menu interaction", *ACM Transactions on Computer-Human Interaction (TOCHI)*, Vol. 14, p. 1.
- [5] Benbasat, I., & Todd, P., (1993) "An experimental investigation of interface design alternatives: icon vs. text and direct manipulation vs. menus", *International Journal of Man-Machine Studies*, Vol. 38, No. 3, pp. 369-402.
- [6] Gittins, D., (1986) "Icon-based human-computer interaction", *International Journal of Man-Machine Studies*, Vol. 24, No. 6, pp. 519-543.
- [7] Parush, A., Shwarts, Y., Shtub, A., & Chandra, M. J., (2005) "The impact of visual layout factors on performance in Web pages: A cross-language study. Human Factors", *The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, Vol. 47, No. 1, pp. 141-157.
- [8] Anderson, J. R., (2007) "How can the human mind occur in the physical universe?", New York: NY: Oxford University Press.
- [9] McNamara, T. P., (1986) "Mental representations of spatial relations", *Cognitive psychology*, Vol. 18, No. 1, pp. 87-121.
- [10] Anderson, J. R., Matessa, M., & Lebiere, C., (1997) "ACT-R: A theory of higher level cognition and its relation to visual attention", *Human-Computer Interaction*, Vol. 12, No. 4, pp. 439-462.