

# 聴覚障害者を対象とした手続き的知識獲得のための e-Learning教材の開発 ～視線計測と認知プロセスモデルに基づくデザインの検討～

北島宗雄\*<sup>1</sup> 生田目美紀\*<sup>2</sup>

Developing “Procedural Knowledge” e-Learning Material for Hard-of-Hearing Students  
～ Deriving Requirements by Eye-Tracking Experiments and Cognitive Process Model ～

Muneo KITAJIMA\*<sup>1</sup> and Miki NAMATAME\*<sup>2</sup>

**Abstract** – The requirement of an interactive e-Learning system for studying procedural knowledge is to have the learner to acquire the procedure knowledge reliably. This paper examines the eye-movement data, which were recorded in a separate study by [1], [2] while hard-of-hearing students were using an e-Learning system for studying procedure necessary for using an authoring software by applying the cognitive process model [3]. A number of design issues to be considered for re-designing the e-Learning system are identified.

**Keywords** : e-Learning, hard of hearing students, procedural knowledge, eye-tracking, usability

## 1. はじめに

インタラクティブなグラフィックソフトウェアを利用できるようにするための e-Learning 教材においては、学習者に手順を確実に修得させることが求められる。本論文では、聴覚障害者を対象としてデザインした手続き的知識獲得のための e-Learning 教材を学習者が利用する過程を視線計測した結果 [1], [2] を示し、その結果を、手続き的知識獲得のための e-Learning 教材を利用する際に実行される認知プロセス [3] に沿って検討し、教材の改善点を明らかにする。

## 2. e-Learning 教材と聴覚障害者

e-Learning 教材は、コンピュータが扱うことのできるさまざまな情報を組み合わせて作成されたコンテンツを用いて、学習者に知識を習得させるための教材である。教材コンテンツとして利用できる情報には、文字や画像などの静的情報、動画や音声などの動的情報がある。これらの情報は、個々に独立に扱って組み合わせることができるので、教材コンテンツを作成する際の自由度は非常に高い。このため、学習者の認知特性 (既有知識、情報処理特性、気分) や学習者の知識修得状況に合わせて、学習がより促進されるような教材コンテンツを提供することが可能である。

第 2 著者は、現在、聴覚障害学生の教育に携わって

いる。彼らの情報活動も、聴覚に障害のない健聴学生と同様に、書籍、ウェブなどを中心としてテキスト情報を主たる媒体として行われる。しかし、聴覚に障害があると、テキスト情報から意味を汲み取る際の認知活動が健聴者と同じようにはなされないことが知られているので [4]、教育の現場においては、彼らの特性を考慮したテキスト情報の提供が必要とされている。そこで、筆者らは、聴覚障害学生がウェブページから情報を獲得する際の特徴を視線計測実験を行うことによって解明し [5] [6] [7]、情報活動を支援するようなウェブページデザインの方法を検討してきた [8] [9] [10]。

これまでの研究により、聴覚に障害のある学生は、ウェブページ上に配置されたテキストの役割やそれらの間の関連性がすぐに分かるようにデザインされていない場合に、ウェブページで提供されている情報をスムーズに理解することが難しくなる傾向があることがわかった [9]。例えば、ウェブページのコンテンツが段組み構造で表示されている場合に、その構造が視覚的に容易に把握できるようにデザインされていないと、コンテンツ間の関連性を適切に把握することが難しくなる。その結果、そのウェブページで提供されている情報を適切に把握することが難しくなる。つまり、ウェブページ上のオブジェクトの役割やオブジェクト間の関連が、見てすぐに分かるようにデザインされていない場合に、情報活動に困難を来すと言える。

この知見を踏まえて、筆者らは、インタラクティブなグラフィックソフトウェアを利用できるようにするための e-Learning 教材のデザインを行ってきた [1], [2]。

\*1: 産業技術総合研究所

\*2: 筑波技術大学

\*1: National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

\*2: Tsukuba University of Technology

これまでの研究対象であったウェブを利用した情報活動においては、情報の探索が主として行われる。したがって、探索目標とウェブページ上のテキスト表現の照合がどのようになされるのが、研究の焦点であった。一方、e-Learning 教材では、その目的がソフトウェア操作に必要な手続き的知識を習得させることにある。これは、「教材が提供する教示を読む」「それを理解して演習を行う」「教材を操作して次の教示を得る」などの認知行動を学習者が自ら実行することによって達成される。このように、e-Learning 教材を利用する際には、ウェブページ操作において必要であった探索目標と画面に表示される情報の照合ばかりでなく、認知行動系列の適切な組織化を学習者自らが行うことが必要とされる。

我々の目標は、聴覚障害学生がスムーズに手続き的知識を学習できるような e-Learning 教材をデザインすることである。しかし、聴覚障害者がウェブページを利用する過程について十分な理解が得られていなかったのと同様に、e-Learning 教材を聴覚障害者がどのように利用するのかについても十分な理解が得られていないわけではない。そこで、我々は、e-Learning 教材の初期バージョンをデザインし、聴覚障害学生がそれを利用する様子を記録し、そのバージョンの利点/欠点を把握し、次期バージョンのデザインにつなげるといふ、繰り返しデザインの方法をとることにした。具体的には、初期バージョンを用いて視線計測実験を行った結果を、以降の章で説明する「教示理解に基づく行動プランニングに関する認知行動モデル」に基づいて評価して、繰り返しデザインを実施する。

### 3. e-Learning 教材と認知モデル

#### 3.1 はじめに

タスク遂行方法や機器操作方法に関する教示がユーザに与えられたときに、その指示通りに実行することが難しいことはよく知られている。その理由として、トレーニングやレファレンス資料における教示があいまいで分かりにくいことや、一般にユーザは、マニュアルをまず読んで理解してからタスクを実行するという過程よりも、探査学習とよばれる学習方法をむしろ好むということが挙げられる<sup>[11]</sup>。探査学習とは、例えば、新しいアプリケーションの操作を学習するとき、現在のタスクを遂行することを念頭に置きつつ、自分の既有知識を援用しながら正しい操作を自分で発見し、新しい操作方法を学習する、というものである。機器の高度化や多機能化が進み、機器が支援するタスクが多様化しユーザのニーズも多様化する中で、ユーザに操作を適切に習得させるには、探査学習を支援するような教示の提示が重要である。教示を適切にデザ

インするためには、ユーザが教示を理解しながら探査学習をどのように実行するのかを正しく理解しておくことが必要である。e-Learning 教材においてはユーザは指定されたタスクを遂行する。教示はタスク遂行に合わせて提供される。したがって、ユーザの行動は、教示理解に基づく探査学習の特殊例と見なすことができる。

本章では、探査学習の認知モデル LICAI モデル<sup>[3]</sup>を説明し、続く章で、e-Learning 教材初期バージョン利用過程をモデルに基づく評価の準備を行う。<sup>1</sup>

#### 3.2 LICAI モデル<sup>[3]</sup>

LICAI モデルは、教示理解過程と、その結果に基づくディスプレイ上での操作選択過程を統合したモデルであり、以下に示すような、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けるひとつの基本的なシナリオを対象としている。

外部からの教示 (マニュアル、オンラインヘルプ、等) を得て、それを理解し、その結果をディスプレイの上で実行する

これらの認知プロセスの前者が「教示理解過程 (instruction taking process)」、後者が「操作選択過程 (action planning process)」である。インタフェースディスプレイ上での操作選択過程は、Hutchins ら<sup>[12]</sup>がアクション理論の形で示しているようにゴール指向の過程である。LICAI モデルの操作選択過程<sup>[13]</sup>は Hutchins らのアクション理論に基づいており、ゴールが操作選択過程の結果に大きく影響する。そこで、LICAI モデルでは、操作選択過程の前に、教示理解結果からゴールを選択する「ゴール選択過程 (goal selection process)」を置いている。

LICAI モデルでは、これらの3種の認知プロセスを認知機構「Construction Integration 理論 (以降、CI 理論)<sup>[14],[15]</sup>」の上で定義している。CI 理論は、元来、文章理解過程の認知モデルとして Kintsch<sup>[14]</sup>が提案した理論であるが、Mannes & Kintsch<sup>[16]</sup>により HCI への拡張が図られた。また、Kitajima & Polson<sup>[13]</sup>によりディスプレイベースの HCI における操作選択過程への拡張がなされ、エキスパートでもしばしば犯すエラー、アクションスリップ、に対する新しい説明が与えられた。CI 理論は、シンボル主義とコネクショニストを折衷したものであり、適応エキスパート (初めて遭遇した状況においても適切な操作を行える) のモデルとなっている<sup>[17]</sup>。以下では、上図により LICAI モデルを説明する。

1: the **L**inked model of **C**omprehension-based **A**ction-planning and **I**nstruction taking の略

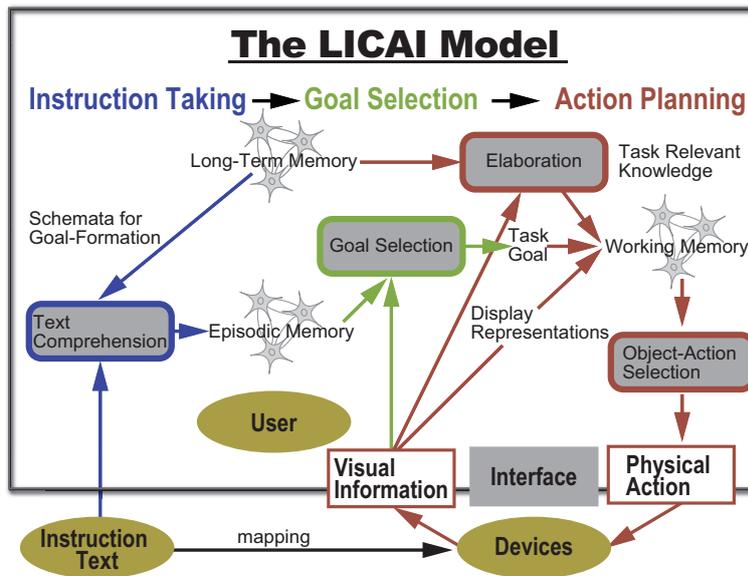


図 1 LICAI モデルの概略  
Fig.1 Outline of the LICAI model

### 3.3 教示理解過程

LICAI モデルでは、以下のような教示が与えられた場合を想定している。

1. *In this experiment you are going to learn a new Macintosh application, Cricket Graph, by exploration.*
2. *The task you are going to perform will be presented to you as a series of exercises.*
3. *The data you are going to plot is contained in a Cricket Graph document, "Example Data."*
4. *Your overall goal is to create a new graph that matches the example graph shown here in the instructions.*
5. *Your first exercise is to plot the variable "Observed" as a function of the variable "Serial Position."*
6. *After you have created a new graph, you will modify it so that it more closely matches the example given in your instructions.*

教示理解過程では、CI 理論に基づき、センテンス毎にその命題表現を作業記憶に形成する。もし、

DO [YOU, VERB, OBJECT]

の形式の命題が現われれば、理解スキーマを適用し、

PERFORM [VERB, OBJECT, *list of specs*]

というゴールを表現する命題を作業記憶に新たに生成する。このようにして生成される全ての PERFORM 命題は、操作選択過程において重要な役割をもつゴールの候補である。

各センテンスは、その命題表現に、スキーマによって生成されたゴール表現を加えてネットワークとして表現される。各命題間のリンクのウェイトは CI 理論に基づいて決定される。例えば、2 つの命題が共通の

引き数を持つ場合にはそれらは結合される。このようにして構成されたネットワークは活性伝播により統合される。最終的に得られる安定した活性パターンがそのセンテンスの理解結果を表わす。この理解結果を反映するようにエピソード記憶が形成される。同様に、全てのセンテンスの理解結果がエピソード記憶に蓄積される。

エピソード記憶には、各々のセンテンスの命題表現、また生成されたゴールの命題表現をノードとするネットワークが形成されている。ネットワークのリンクの強度はセンテンス理解過程時における活性の大きさを反映している。例に挙げた教示を理解し終えたとき、以下のようなゴールがエピソード記憶に格納されている。

- 1: PERFORM [LEARN, CRICKET-GRAPH]
- 2: PERFORM [PERFORM, TASK]
- 3: PERFORM [PLOT, DATA]
- 3: PERFORM [\$, \$, [LABEL [EXAMPLE-DATA], DOC]
- 4, 6: PERFORM [CREATE, GRAPH]
- 5: PERFORM [PLOT, \$, AS-A-FUNCTION-OF [OBSERVED, SERIAL-POS]]
- 5: PERFORM [PLOT, OBSERVED, Y-AXIS]
- 5: PERFORM [PLOT, SERIAL-POS, X-AXIS]
- 6: PERFORM [MODIFY, GRAPH]

### 3.4 ゴール選択過程

ディスプレイが与えられたとき、ディスプレイに表示されている情報を手がかりとしてエピソード記憶に格納されたゴールの検索が行われる。記憶検索の機構は Kintsch & Welsch<sup>[18]</sup> に準じており、エピソード記憶を表現するネットワークに、外部の手がかりを表わ

すノード(ディスプレイ表現)から活性を伝播させ、最も活性の大きなゴールノードが選択される。これが、与えられたディスプレイ上で次に行うべき操作のためのゴールとなる。例えば、GRAPHというラベルがディスプレイにあるときには、PERFORM [CREATE, GRAPH]、PERFORM [MODIFY, GRAPH] が強く活性化される。その強度は検索のためのネットワークの構造に依存する。

### 3.5 操作選択過程<sup>[13]</sup>

Hutchins らの操作理論<sup>[12]</sup>では、インタフェース上でのユーザの認知活動を、「表示されている情報のゴールに照らした評価」「それに基づく操作の選択と実行」から成る「評価・実行のサイクル」として考えている。LICAI モデルでは、ディスプレイベースの HCI をこのアクション理論の上で捉え、CI 理論に基づいて認知プロセスをモデル化している。

#### 3.5.1 評価のステージ

**ディスプレイ表現の生成:** 外部ディスプレイが与えられたとき、まずディスプレイの知覚レベルの表象を生成し、作業記憶に格納する。この段階では、ディスプレイに表示されているオブジェクトのアイデンティティ(何が)やアピアランス(どのように)の情報のみが生成される。

**ディスプレイ表現の精緻化:** 長期記憶に格納されている知識(インタフェース、アフォーダンス、ファンクション等に関する知識)をディスプレイ表現を手がかりとして検索し、作業記憶に付加し、精緻化されたディスプレイ表現を生成する。

#### 3.5.2 実行のステージ

**操作対象の選択:** 精緻化されたディスプレイ表現から構成されるネットワークに活性を伝播させ、次に行う操作対象候補、数個をディスプレイの中から選択する。ここでは CI 理論に基づくネットワークの構成(リンクの付与)、活性伝播による統合が行われる。操作対象としては、ゴールと非常によいオーバーラップをしているオブジェクトや、ディスプレイ上で相互にオーバーラップしているオブジェクトが選ばれる。

**操作の選択:** すべての操作対象候補と、すべての操作(カーソル移動、クリック、ドラッグ等)の組み合わせについて、それらと現在の文脈(ゴール、精緻化されたディスプレイにより定義される)との適合性を、CI 理論に基づくネットワークの構成・統合により、ネットワークの活性パターンとして表現し、適合度の高い操作・対象ペアの中で実行可能な操作を選択する。

## 4. 教材初期バージョンと利用過程の計測<sup>[1], [2]</sup>

本章では、聴覚障害学生が手続的知識を獲得できるようにするための e-Learning 教材の初期バージョンの仕様を説明する。さらに、利用過程を調べるために

行った視線計測実験の結果について説明する。

### 4.1 e-Learning 教材初期バージョン

#### 4.1.1 e-Learning 教材の概念設計

開発する e-Learning 教材の目的は、オーサリングソフトウェアで実行できる基本的なタスクを達成するのに必要とされる操作を修得させることである。初期バージョンでは、“円を四角に変形させる”というタスクを達成するのに必要な操作の習得を行えるような教材をデザインする。教材が操作の仕方の手本を説明を付けて示し、学習者が自分自身でそれを実行することによって、操作を学習できるようにする。すなわち、学習者がとる操作学習方略として、説明の理解・実習をしながら手順を学習する“learning by doing”を想定する。学習者には、説明が理解できたら(理解できたと思ったら)それを実習するという仕方教材を利用することを促す。

#### 4.1.2 e-Learning 教材の仕様

教材の画面は、“デモンストレーション用ウィンドウ”と“作業ウィンドウ”から構成されている。“デモンストレーション用ウィンドウ”には、タスク遂行過程の手本がムービーとして再生され、タスクの進行に合わせて、そこで実行される操作の説明が、吹き出しにより提供される。学習者は、「再生」「停止」「巻き戻し」ボタンを使って、ムービーの再生を制御できる。一方、“作業ウィンドウ”では、修得対象であるオーサリングソフトウェアを利用できる。学習者は、ムービーで示された操作を、“作業ウィンドウ”で再現する。図 2 に初期バージョンのスクリーンショットを示した。

### 4.2 利用過程の視線計測実験による計測

本研究では、学習者が「教示を読む」「デモンストレーションを観察する」「操作を再現する」というプロセスを実行する様子を記録し、その結果を LICAI モデルに基づいて何が起こっていたのかを把握する。そのために、学習者のマウスとキーボードの操作を記録するだけでなく、視線も記録し「吹き出し式教示」がどのように使われたのかを分析できるようにした。

#### 4.2.1 被験者

聴覚障害学生 20 人(男子 13 人、女子 7 人; 平均年齢 21.7 才、標準偏差 0.75)、健聴学生 20 人(男子 15 人、女子 5 人; 平均年齢 24.6 才、標準偏差 3.11)が実験に参加した。聴覚障害学生の聴覚レベルは 60dB 以上、通常のコミュニケーション方法は手話あるいは話話であった。

#### 4.2.2 刺激

17 インチ液晶モニター上にデモンストレーション用ウィンドウと作業ウィンドウを表示した。大きさはいずれも縦 27cm 横 54cm であった。被験者とモニター

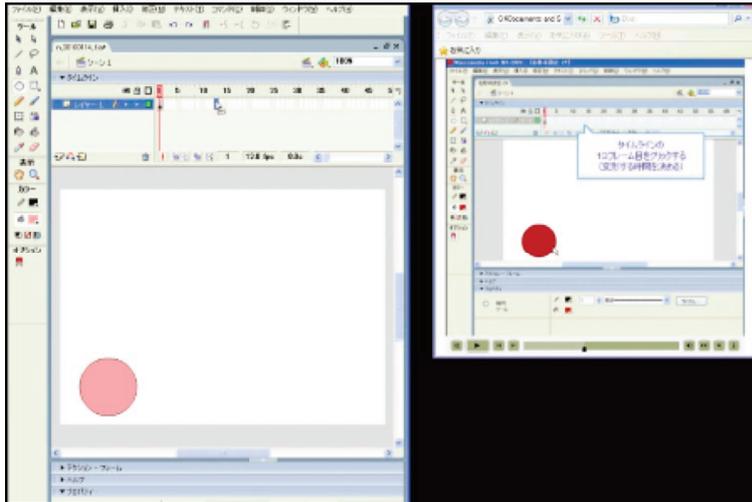


図 2 手順学習のための e-Learning 教材の初期バージョン  
 Fig.2 The initial version of an e-Learning material for studying procedural knowledge.

の距離は約 55cm に設定し、縦 20 度、横 36 度の視野角を確保した。

#### 4.2.3 視線計測機器

Tobii T-60 アイトラッカーを用いて、60Hz で両眼の眼球運動を記録した。

#### 4.2.4 実験手順

本実験に先立って、e-Learning 教材のインタフェースを問題なく操作できるようにするための練習を実施した。被験者が、ムービー制御、吹き出しによる操作の説明、説明にしたがった実習という流れに従って、e-Learning 教材を利用できるようになったことを確認した後に、視線を記録する本実験に進んだ。本実験はタスク達成、あるいは 20 分経過した時点で終了とした。

#### 4.2.5 演習と教示

教材は、5 つのユニットから構成され、合計 14 個の吹き出し式の指示が提供される。表 1 に、“円を四角に変形させる”というタスクを達成するために必要な操作を学習するためにデザインしたコンテンツを示す。

### 4.3 結果

#### 4.3.1 結果の概略<sup>[1],[2]</sup>

表 2 にタスクを完遂できた被験者数、完遂できなかった被験者数を示した。e-Learning 初期バージョンでは、約半数の被験者がタスクを完遂できなかった。したがって、全ての学習者にとって問題のない教材とはなっていなかった。しかしながら、約半数の被験者はタスクを完遂できていたので、それらの被験者がどのように教材を使っていたのかを詳細に書き出し、不具合が生じる可能性のある局面を、LICAI モデルをガイドとして用いて説明することにした。

表 1 タスク「円を四角に変形させる」の学習コンテンツ

Table 1 The contents for learning the necessary procedures for accomplishing the task “Transform a circle into a rectangle.”

<b>Unit-1:</b>	ドローツールで円を描く
1 (1-1)	円を描くツールを選ぶ
2 (1-2)	ドラッグして円を描く (変形開始時点の図形)
<b>Unit-2:</b>	キーフレームで変形時間の設定をする
3 (2-1)	タイムラインの 13 フレーム目をクリックする
4 (2-2)	挿入 (I) メニュー項目を長押しする
5 (2-3)	メニュー項目「タイムライン」でサブメニューが出るのを待つ
6 (2-4)	空白フレーム (B) を選択する
7 (2-5)	13 フレームできたことを確認する
<b>Unit-3:</b>	ドローツールで四角形を描く
8 (3-1)	14 フレーム目をクリックする
9 (3-2)	四角を描くツールをクリックする
10 (3-3)	ドラッグして四角形を描く (変形完了時点の図形)
<b>Unit-4:</b>	トゥイーン機能を用いてアニメーションを自動生成する
11 (4-1)	変形開始のフレームを選択
12 (4-2)	トゥイーンを設定する
13 (4-3)	シェイプ項目を選択する
<b>Unit-5:</b>	オニオンスキン機能で確認する
14 (5-1)	オニオンスキンで確認

#### 4.3.2 結果の詳細<sup>[1]</sup>

実際に被験者がどのように教材を使って課題を実行したのかを知るために、操作を書き出した。行動は 4 つの行動カテゴリに粗分類できる：

1. 教示を読んでいるときの視行動
2. それ以外の視行動
3. 教材コントロール

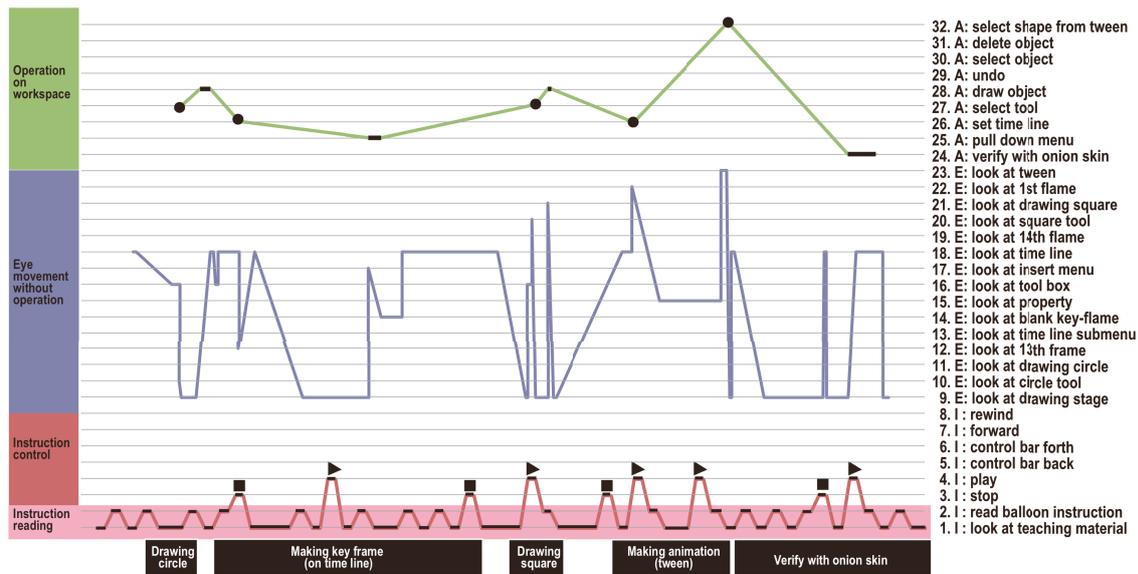


図 3 最速でタスク達成した被験者の操作記録<sup>[1], [2]</sup>  
 Fig. 3 Representation of the most successful participant's use of the course material with 32 primitive actions.<sup>[1], [2]</sup>

表 2 e-Learning 教材を利用してタスクを完遂できた被験者数 / 完遂できなかった被験者数  
 Table 2 Number of participants who could or could not complete the e-Learning course material.

	Success		Fail	
	Male	Female	Male	Female
Hard-of-Hearing	6	5	7	2
Normal Hearing	6	3	9	2

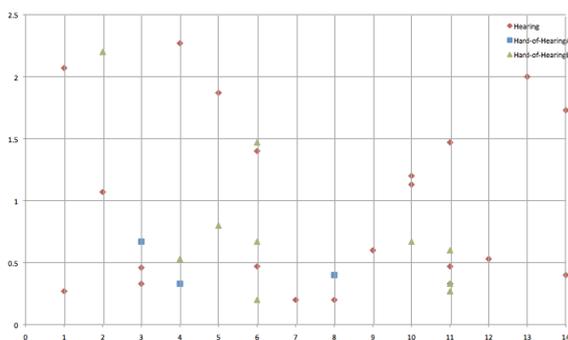


図 4 吹き出し式教示の注視時間<sup>[1]</sup>  
 Fig. 4 Reading times of instructions.<sup>[1]</sup>

#### 4. 作業ウィンドウでの演習活動

そして、さらに、32の基本行動に細分類できる。操作の書き出しは、これらの基本行動によって行った。

**最速タスク達成被験者 (健聴者):** 図 3 は最も速くタスクを達成した被験者 (健聴者) の操作結果を示している。横軸はタスク開始から達成までの時間経過と 5 つの課題ユニットを示している。縦軸は 32 種類の基本行動と行動カテゴリを示している。この図からは、教材の動きと教示を読んで、教材を停止させて作業を

し、また教材をスタートして次のステップへと進んで行く様子が確認できる。

次に、吹き出し式教示に対する注視活動をプロットした (図 4)。この被験者は (赤い でプロット) 全ての教示を読んでいて。しかし、同じ教示を 1 回だけでなく 2 回読む場合もあることがわかった。吹き出し式教示の平均注視時間は 1,462msec であった。これは、吹き出しに指示されている内容を読み理解する時間として妥当な長さである。

**最速タスク達成被験者 (聴覚障害者):** この教材が聴覚障害学生に実際にどのように使われたのかについて、吹き出し式教示の利用のされ方に着目して視線計測結果を分析した。分析では、教材で取り上げたアプリケーションの使用経験がないグループの中から、最短時間でタスクを達成できた 2 人を選んだ。図 4 に示したように、聴覚障害学生 A (青い でプロット) は吹き出し式教示 (2-1)(2-2)(3-1)(図中、3,4,8) の 3 つだけを利用した。1 つの教示に対する平均注視時間は 468msec であった。聴覚障害学生 B (緑の でプロット) は吹き出し式教示 (1-2)(2-2)(2-3)(2-4)(3-3)(4-1)(図中、2,4,5,6,10,11) の 6 個を利用した。1 つの教示に対する平均注視時間は 1,335msec であった。聴覚障害学生 A の 1 つの教示に対する平均注視時間は最速でタスク達成できた健聴者と比較すると著しく短かった。聴覚障害学生 B の吹き出し式教示の利用は、約半分程度の回数であったが、1 つの教示あたりの平均注視時間は、最速でタスク達成できた健聴者と同等であった。

## 5. LICAIモデルに基づく初期バージョンの評価

### 5.1 e-Learning教材学習の認知プロセス

#### 5.1.1 適切に利用されるとき認知プロセス

LICAIモデルに基づいて、手続き的知識獲得のためのe-Learning教材(初期バージョン)を利用して学習する際の学習者の認知プロセスをたどってみよう。主タスクは“円を四角に変形させる”であり、それが、4つのサブタスクに分けられ(Unit-1~Unit-4)、各サブタスクはいくつかのサブサブタスクに分けられている。教材はサブサブタスクを順次「吹き出し式教示」として学習者に提供し、吹き出し式教示に対応するムービーを再生する。学習者は「吹き出し式教示」を読み、その心的表象を作業記憶に置いた状態でムービーを見ることになる。ここで、「吹き出し式教示」を読んだ結果がLICAIモデルにおけるゴールの表現となる。ムービーは、アクション選択までを行ったときに活性化される知識ネットワークを、学習者に生成させることになる。

表1に示したように、本教材においては、ユニットの目標がゴールに対応し、吹き出し式教示はサブゴールに対応する。学習者は、1つのユニットを再生してそのユニットに含まれる複数の「吹き出し・ムービー」に対応する記憶を形成し、それを利用して作業ウィンドウでそのユニットのゴールの達成を図ることになる。学習者は、生成されたネットワークが活性を失う前に、そのネットワークを利用しながら自分自身で作業ウィンドウにおいて操作選択を行うことになる。以上の考察から明らかなように、作業記憶に、ゴールから操作選択に至るまでの間に利用される知識ネットワークが活性化されていることがデモンストレーション用ウィンドウでの経験を作業ウィンドウで追体験するために必要である。

ムービーを見ることによって、ムービそのものの内容が作業記憶にエンコードされると同時に、それに関連した知識も活性化され、両者を合わせた知識ネットワークが活性をもった状態になる。学習者の持っている知識は当然異なっているので、活性化される知識は異なり、ムービを見た後に構築される活性知識ネットワークの内容も異なってくる。

#### 5.1.2 吹き出し式教示を見ない場合の認知プロセス

吹き出し式教示を見ないでムービーだけを見た場合には、当該学習ユニットの当該操作を実行する際に保持していなければならないゴールの心的表象が適切に形成されない。Kitajima & Polson<sup>[13]</sup>の熟練ユーザの操作選択モデルでは、ゴールは強力な活性源であり正しいアクションの選択をするために必要であることが示されている。ゴールには、何を達成すべきかを表現

する「タスクゴール」とどのようなデバイスの状態を目指すのかを表現する「デバイスゴール」がある。「タスクゴール」ならびにそれと対になって記憶されている「デバイスゴール」を活性源として、それを結びつけるアクションがGUIに関する知識(例えば、アイコンはダブルクリックできる、など)も援用して選択される。学習されるべき事柄は、タスクゴールとデバイスゴールの連合、適切なアクションを選択する過程に必要な知識ネットワークを活性化するために必要とされるムービーに示されているコンテンツの符号化であるが、吹き出し式教示を見ない場合には、このような学習が成立しない。したがって、たとえ、ムービーだけを暗記し作業ウィンドウで再現できたとしても、将来利用できる形で知識は形成されないと考えられる。

#### 5.1.3 タスクを完遂した被験者の認知プロセス

最速タスク達成被験者(健聴者): 図3に示した被験者の教材利用過程を5.1.1に示した過程と比較してみる。この被験者は全ての吹き出し式教示を読んでいるが、図3に示したように、ムービーの再生・停止をしながら読み進み、かつ、デモンストレーション用ウィンドウと作業ウィンドウの間で視線を移動させながら、作業ウィンドウでユニットタスクを遂行している。この被験者の認知プロセスは、5.1.1に示した過程に沿って実行されていると考えられる。吹き出し式教示をムービーを利用して理解する過程が、デモンストレーション用ウィンドウからの情報だけではなく、理解した結果を再現しなくてはならないことから、作業ウィンドウに表示されているオブジェクトも参照する形でなされているようである。認知モデルとの詳細な対応は今後の課題とするが、吹き出し式教示の実行される状況に適合するようにする認知活動として、有効な活動と考えられる。

最速タスク達成被験者(聴覚障害者): タスクを達成できた2人の聴覚障害学生の事例では、吹き出し式教示をあまり利用していない事がわかった。それだけでなく、操作記録の動画部分(吹き出しを含む)を見て、理解できたところで、一度教材を止めてから、ワークスペースで実習する、というようには使われていないこともわかった。2人とも動画デモンストレーションの動きそのものを見て操作を行っていた。指示をあまり見なかったため、教材の動きを止めるタイミングを逃してしまい、覚えきれないほど教材がすすんでしまつてわからない状況になってから、教材を止めるという状況が多々見受けられた。聴覚障害者が吹き出し式教示のような文字情報よりもイメージ情報に強く依存する傾向は、我々のウェブユーザビリティに関する先行研究<sup>[6]</sup>の結果と一致している。サブサブゴールとしての吹き出し式教示の心的表象が含まれない形式

での操作の記憶は、5.1.2で説明したように、実際のタスク場面でその記憶が利用されやすいようには記憶が形成されていない可能性がある。聴覚障害者を対象とした手続き的知識獲得のための e-Learning 教材を開発する際には、このような聴覚障害者の認知行動特性を踏まえて、タスク指示を達成するのに役立つ知識が獲得できるような教材デザインを行う必要があるだろう。

## 6. おわりに

手続き的知識獲得のための e-Learning 教材の利用過程を視線計測実験を行って調べた。e-Learning 教材では、主タスクは、サブタスクとサブサブタスクに分解され、サブサブタスクが吹き出し式教示として提供される。学習者は、それを読み、その内容に対応するムービーを見て、作業ウィンドウでそれを再現する。

本論文では、この認知プロセスを LICAI モデルに沿って捉え、タスクを完遂した学習者であっても、吹き出し式教示を読まなかった場合には、知識が適切に獲得されない可能性を示唆した。実験では、被験者の半数がタスクを完遂できなかったが、タスクを完遂した健聴者の教材利用過程のなかから、教材の適切な利用法のヒントが得られた。すなわち、吹き出し式教示とムービーの内容の理解の形成を、そこで得られた理解に基づいて実習をすることになる作業ウィンドウの情報とリンクさせながら、行う、ということである。これには、学習者に教材の適切な箇所に注意を向けさせることが有効だろう。e-Learning 教材は学習者のペースで学習ができることが特長であるが、教材側が適切に学習者の注意を制御することも同時に重要であろう。次期バージョンで試みて行きたい。

## 謝辞

本研究は科研費 (0034440, 21300301) の助成を受けたものである。

## 参考文献

- [1] Namatame, M., Kitajima, M.: Designing Course Material Using Interactive Authoring Software Application for Hard-of-Hearing Students; In *Proceedings of the Global Conference on Learning and Technology*, pp.1402-1408 (2011).
- [2] 生田目 美紀, 北島 宗雄: 認知特性に配慮した聴覚障害者のための e-Learning 教材のデザイン (1); *デザイン学研究 2011*(第 58 回研究発表大会概要集, 平成 23 年 6 月), pp.58-59 (2011).
- [3] Kitajima, M., Polson, P.G.: A Comprehension-Based Model of Exploration; *Human-Computer Interaction*, Vol.12, No.4, pp.345-389 (1997).
- [4] Wilson M., Emmorey, K.: A "Word Length Effect" for Sign Language: Further Evidence for the Role of Language in Structuring Working Memory; *Memory & Cognition*, Vol.26, pp.584-590 (1998).
- [5] Namatame, M., Kitajima, M., Nishioka, T., Fukamauchi, F.: A Preparatory Study for Designing Web-based Educational Materials for the Hearing-Impaired; In *Proceedings of the 9th International Conference on Computers Helping People with Special Needs (ICCHP2004)*, pp.1144-1151 (2004).
- [6] Namatame, M., Nishioka, T., Kitajima, M.: Designing a Web Page Considering the Interaction Characteristics of the Hard-of-Hearing; *Proceedings of the 9th International Conference on Computers Helping People with Special Needs (ICCHP2006)*, pp.136-143 (2006).
- [7] Namatame, M., Kitajima, M., Nishizaki, Y.: Utility of Labeled Pictograms for Improving Performance in Directory-Based Information Search Tasks at E-Commerce Sites; In *Proceedings of the IADIS e-Commerce 2007 Conference*, pp. 251-255 (2007).
- [8] 西崎 友規子, 生田目 美紀, 北島 宗雄: 情報検索における聴覚障害者の認知特性 - 聴覚障害者のための使いやすい Web コンテンツ制作に向けた基礎的研究; *人間工学*, Vol.43, No.4, pp.177-184 (2007).
- [9] 生田目 美紀, 北島 宗雄: 聴覚障害者のウェブ利用特性に基づくウェブユーザービリティ向上に関する研究; *ヒューマンインタフェース学会誌*, Vol.9, No.4, pp.435-442 (2007).
- [10] Namatame, M., Kitajima, M.: Comparison of Alternative Representational Formats for Hyperlinks: Pictogram, Labeled-Pictogram, and Text; *The Ergonomics Open Journal*, Vol.2, pp.72-79 (2009).
- [11] Carroll, J.M.: *The Nuremberg Funnel: Designing Minimalist Instruction for Practical Computer Skills*; MIT Press (1990).
- [12] Hutchins, E.L., Hollan, J.D., Norman, D.A.: Direct manipulation interfaces; In Norman, D.A. and Draper, S.W. (Eds.), *User Centered System Design*, Lawrence Erlbaum Associates (1986).
- [13] Kitajima, M., 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*, Vol.43, pp.65-99 (1995).
- [14] Kintsch, W.: The role of knowledge in discourse comprehension: a construction-integration model; *Psychological Review*, Vol.95, pp.163-182 (1988).
- [15] Kintsch, W.: *Comprehension: A Paradigm for Cognition*, Cambridge University Press (1988).
- [16] Mannes, S.M., Kintsch, W.: Routine computing tasks: planning as understanding; *Cognitive Science*, Vol.15, pp.305-342 (1991).
- [17] 北島 宗雄: 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; *人工知能学会誌*, Vol.11, No.2, pp.321-329 (1996).
- [18] Kintsch, W., Welsch, D.M.: The construction integration model: A framework for studying memory for text; In W.E. Hockley and S. Lewandowsky (Eds.), *Relating theory and data: Essays on human memory*, Lawrence Erlbaum Associates, pp. 367 -385 (1991).
- [19] Namatame, M., Kitajima, M.: Improving Web Usability for the Hard-of-Hearing; In *Proceedings of Eye Tracking Research & Applications Symposium 2006 (ETRA2006)*, p.39 (2006).