

## マルチタスク環境下における認知負荷の測定と評価

岩田 貴裕<sup>†1</sup> 山邊 哲生<sup>†1</sup> 中島 達夫<sup>†1</sup>

昨今、携帯端末やウェアラブルコンピュータの発達により、ユーザはモバイルコンピューティング環境でもより多様なインタラクション手法を用いてサービスを利用できるようになりつつある。場所や環境によって状況が刻一刻と変化するモバイルコンピューティング環境下では、注意の分散、知覚能力の低下などが起こるため、できる限り注意を要求しない認知的負荷の低い情報提示をデザインする必要がある。本研究では、モバイルコンピューティング環境下における低負荷なインタラクション実現のため、異なるデバイスからの情報提示と提示する情報の量、情報の形式がユーザの認知活動に及ぼす影響を実験により評価した。また、得られた知見から将来課題を示した。

### Workload evaluation of information cognition in a multi-task environment

TAKAHIRO IWATA,<sup>†1</sup> TETSUO YAMABE<sup>†1</sup>  
and TATSUO NAKAJIMA<sup>†1</sup>

Current mobile interaction is not well designed with considering mobility. Usability of a mobile service is degraded while on the move, since users can not pay enough attention to the service in such a dynamic and complicated mobile context. In this paper, we measure and evaluate cognitive/mental workload of information cognition tasks in a multi-task environment. In the experiments, we focused on three aspects: notification devices, modality of information, and amount of information. Based on the experiments, we discuss about the way to decrease workload of mobile interaction; and also point our future works of this research.

### 1. はじめに

#### 1.1 背景と目的

近年、コンピュータの小型化と共にモバイル環境化においても様々なサービスを利用することが可能となっている。たとえば携帯電話では、Webサイトのブラウジングはもちろん、ソーシャルネットワークワーキングサービス (SNS) を使った動画配信や写真の共有、位置情報を使っの美味しいレストラン検索など様々なサービスをいたるところで利用できるようになった。

また、ユーザとデバイス間、ユーザとサービス間のインタラクションの形態も変化してきている。ヘッドセットに代表されるように、ウェアラブルコンピュータを使ったインタラクションの拡張もその1例である。例えばヘッドマウントディスプレイ (HMD) を用いて視覚に直接訴えかけたり、携帯電話と無線通信を行うことができる腕時計やブレスレットを用いて触角を通した情報通知を行うなど、すでに様々な形状のデバイスが商用化されている。

しかしながら、ハードウェアが多様化を遂げる一方、ソフトウェア、即ちモバイルサービスが提供するインタラクションのスタイルの多くは従来のデスクトップ環境を想定したパラダイムで構築されている。モバイル環境下では、多くのタスクが並列に発生するマルチタスク環境である上に、ユーザの移動に伴って環境が変化する特徴を持っているので、ユーザの認知活動に及ぼす影響は従来のデスクトップ環境と大きく異なる。このようなモバイル環境下での特徴を考慮した上でインタラクションをデザインする必要がある。

本研究ではユーザの状況に柔軟な情報提示手法の選択が可能で、複数デバイスを用いたマルチモーダルインタラクションに着目した。モバイル環境下におけるマルチモーダルインタラクションにおいて、ユーザの認知的な負荷に影響を及ぼす要因は、ユーザの状況や周辺環境の状況、提示するデバイスや情報の形式など様々である。このような様々な要因の中で以下の3つの要因に絞り込み、その認知的負荷を評価した。

- 情報を提示するデバイスの種類
- 提示する情報の形式 (文字, 図形)
- 提示する情報の量

本研究の目的は、上記3つのパラメータを組み合わせた情報提示を用いた認知実験を行い、その負荷を測定し評価することである。認知実験は、マルチタスク環境を想定した二重課題法を用い、メインタスクに情報探索課題、サブタスクにトラッキング課題を用いる。情報提示デバイスは、HMDによる直接的な視覚への提示、携帯端末による間接的な視覚への提

<sup>†1</sup> 早稲田大学  
Waseda University

示、イヤホンによる音声での提示を用いる。その際、情報探索課題に用いる提示情報の形式と量を変化させたとき、サブタスクであるトラッキング課題に及ぼす影響を測定することで認知負荷を評価した。また、NASA-TLX を用いてユーザの精神的負荷を評価すると共に、アンケートによって主観的評価を行った。

## 1.2 マルチモダリティ

本研究では、複数のデバイスや感覚を用いたマルチモーダルインタラクションが認知負荷を低減するための有効なアプローチであると考えているが、その根拠となる理論や研究を以下に示す。

Wickens は人の認知理論として Multiple resource theory<sup>1)2)</sup> を提唱した。Multiple resource theory は、人が複数のタスクを同時に行う際には、単一の資源 (resource) を複数のタスクに割り当てるのではなく、複数の資源を利用していると考えられる理論である。ここでいう資源とは、認知活動のために利用可能な認知資源を指し、たとえばテレビを見ているときは視覚に関する資源を使用し、情報を認知している。Wickens は人間の情報処理の機構を、3つの次元で表しそれぞれの次元は2分された注意 (attention) の資源を持つと考えた。

次元の1つ目は情報の入出力であり、**知覚**(例. 文字を読む、音声を理解する、など)と**反応**(例. 言葉を話す、手で操作する、など)は別の注意資源を持つ。次元の2つ目は情報の知覚モダリティであり、目で見えて認識処理する**視覚**と音の情報を耳で認識する**聴覚**は別の注意資源を利用している。次元の3つ目は情報の表現形式であり、**空間**(図、映像、動き、など空間的イメージをとらえたものを指す)と**言語**(テキストやスピーチの入出力など言語的な意味を持つものを指す)の2つの注意資源に分かれる。

これらの2分された注意の資源が集中せず、うまく分散されることで認知負荷が低減されると考えている。例えば複数の視覚情報を知覚する場合より、いくつかの情報を音声情報として知覚するほうが、視覚と聴覚よっての注意資源を分散しているため、認知的負荷は低減される。

Jennifer<sup>3)</sup>らの研究では、マルチモダリティを使用した実験を行った論文のメタ解析を行い、単一のモダリティを使用した場合と複数のモダリティを使用した場合の成果を比較した。それによれば、多くの研究で複数のモダリティを使用するほうが、同じモダリティを使用するより情報に対する認知速度が速くなることが示されている。これは、それぞれのモダリティは各々の制限ある資源を持っていて、タスクに割り当てていると言い換えることができ、マルチモダリティの有用性を明らかにしている。

## 2. 本研究のアプローチ

本研究では、認知的な負荷に影響を及ぼす要因として、1章で述べたように1. 情報を提示するデバイスの種類、2. 提示する情報の形式 (文字, 図形), 3. 提示する情報の量, の3点に着目した。これらのパラメータが認知工学的にどのような特徴を持つのかを以下に示す。

### 2.1 情報提示デバイス

情報提示における重要な要素として、“知覚モダリティ”と“情報の近接性”の2点に着目した。知覚モダリティは視覚、聴覚、触覚など、情報を知覚する感覚のことを指す。情報の近接性は情報提示の直接性のことを指し、本研究では近接的な情報提示と遠隔的な情報提示に分類した。それぞれの特徴を以下に示す。

#### 知覚モダリティ

屋外環境で携帯端末を使用しながら歩いているとき、しばしば端末に気を取られて人や物に接触しそうになることがある。このようなことが起きる原因は、ユーザが携帯端末から情報を取得する際、歩行のために割り当てられていた視覚の資源が携帯端末の画面に奪われるためである。1.2節で述べたように、情報を知覚する際に使用するモダリティはそれぞれ別々の資源を持っていて、それぞれの感覚毎に制限のある資源を利用していると考えられている。視覚から奪う資源を減らし、視覚や触覚など他の感覚の資源に分散することでユーザの視覚的負担を減らすことが可能であると考えられる。

#### 情報の近接性

HMDの映像や、イヤホンからの音は目や耳に直接情報を提示するため、注意が惹きつけやすい。このようなとき、情報の近接性は“近接的”であり、ユーザは情報を取得するために能動的に行動する必要はない。情報の近接性が遠隔的になると、目や耳への働きかけが小さくなり、注意の惹きつけも弱くなる。例えば携帯端末は、ユーザの感覚器官から離れており、提示される映像や音は必ずユーザの注意に惹きつけるとは限らない。このようなとき、情報の近接性は“遠隔的”であり、ユーザは情報を取得するために能動的に行動しなければならない。これまでのユーザと携帯端末間のインタラクションでは遠隔的な情報提示が主であったが、HMDなどのウェアラブルコンピュータを用いることで近接的な情報の提示が可能になる。

これら2つの特徴を組み合わせることによって、多くの情報提示手法を実現することが

可能になる。本研究では3種類の異なるデバイスを用いて評価実験を行う。以下に使用する各々のデバイスと、その特徴を示す。

(1) HMDによる視覚への近接的な提示

- ユーザの視覚に直接訴えかけ、視線の切り替えを必要としない。
- 情報の必要性にかかわらず、視覚に入る。
- 静止画の場合静的に表示されているため、何度でも確認することが可能である。
- 本実験では片目のみディスプレイになっているものを使用する。

(2) 携帯端末のディスプレイによる視覚への遠隔的な提示

- ユーザは情報を得るために視線を切り替えなければならない。
- いつ情報を取得するか選択できる。
- 静止画の場合、静的に表示されているため、何度でも確認することが可能である。

(3) イヤホンによる聴覚への近接的な提示

- 視覚的資源を必要としない。
- 言語情報の場合、一定の時間を継続して聴く必要がある。

## 2.2 情報の形式

認知に影響を及ぼす要因として、提示する情報の形式も重要である。テキスト表現とグラフィック表現では表現できる情報量は異なる。また、multiple resource theory では、言語情報と空間情報は別の注意資源を使用していると考えているため、マルチタスク環境下では提示する情報の形式をうまく分散させることによって、認知負荷を低減させることが可能であると考えられる。

本研究では、“文字”と“図形”の異なる性質を持つ情報提示に着目した。文字は、広く使用されている情報の表現手法であり、人は文字の情報を長期記憶<sup>4)</sup>として記憶している。評価実験では文字認識の負荷を測定するために、1文字単位で扱った。図形は、色と形の2つの属性を持つものとした。情報認識の際、色と形を別々に認識する2段階の認識によって、その認知的負荷にどのような影響を及ぼすかを測定するためにこの形式を選択した。

## 2.3 情報の量

マルチモーダルなインタラクションを実現するために、どのようなデバイスにどの程度の情報量までを低負荷に提示できるかは、重要な問題である。例えば、音声提示には情報の提示が完了するまでに一定の時間を必要とするため、情報量が増えれば記憶しておかなければならない情報量も増加する。また、HMDのような近接的な情報提示に一度に多くの情報を表示するのは負荷が高いかもしれない。

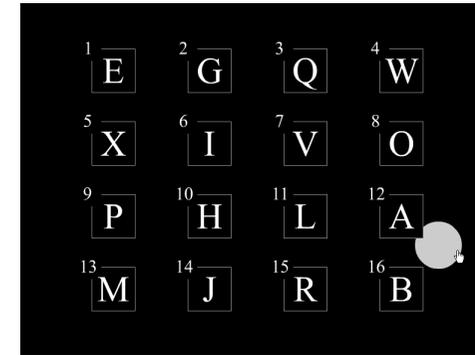


図1 実験画面

本研究では、提示するデバイス、形式によって、提示する情報を変化させたときにその負荷がどのように変化するかを測定した。人が知覚したものは、容量に制限のある短期記憶<sup>4)</sup>に格納されるが、その容量を考慮し情報の量を3段階に変化させ評価実験を行った。

## 3. 実験手法

実験はデスクトップ環境で動作する実験用アプリケーションを作成し、それを用いて行った。認知負荷の測定の実験手法として、二重課題法<sup>5)</sup>を用いた。二重課題法とは、あるメインタスクの余裕度を別のサブタスクの成績を見て判断する手法である。メインタスクの負荷がサブタスクの成績に影響を及ぼすことを利用し、サブタスクの成績を見ることで逆にメインタスクの負荷を測定するという原理である。

本研究ではメインタスクを探索課題、サブタスクをトラッキング課題とした。メインタスクである探索課題に必要な情報を提示するデバイス、情報の形式、情報の量を変化させ、その時のトラッキング課題の成績を見ることで、それぞれの組み合わせの認知負荷を測定した。実験は同一ディスプレイ上でを行い、2つのタスクを並列に行う。図1にその様子を示す。

以下にそれぞれの課題の詳細を示す。

### 3.1 トラッキング課題

トラッキング課題は、画面上に動く円をマウスを動かして追いかける課題である。円は壁に反射しながら直線運動を行っているが、任意のタイミングで方向や速度が変化する。トラッキング課題は探索課題における情報提示手法にどの程度の認知負荷がかかっているのかを評価するために行う課題である。被験者はできるだけ円の中心をたどるようにマウスを動

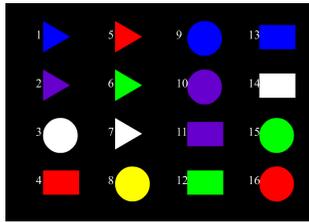


図 2 図形探索画面

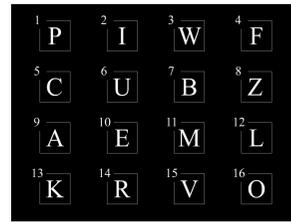


図 3 文字探索画面

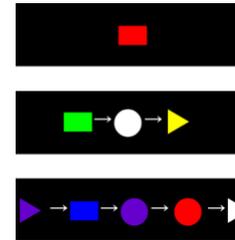


図 4 図形探索の視覚提示画面

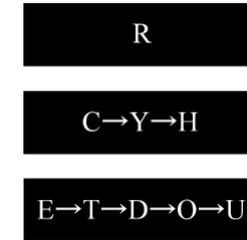


図 5 文字探索の視覚提示画面

かす。

### 3.2 探索課題

探索課題では、探索を行う画面(以下探索画面とする)と、探索のための情報提示を行うデバイスの2種類を使って行う。探索画面は、図1で示したトラッキング課題と同一の画面である。デバイスは2.1節で述べた3種類を用いる。探索画面には4行×4列の数字付きのオブジェクトが配置されており、任意のタイミングで情報提示デバイスに探索すべきオブジェクトの情報が表示される。被験者はデバイスからオブジェクトの情報を取得し、オブジェクトについている数字を発声することで探索結果を示す。

#### 情報の形式と量

探索画面で表示されるオブジェクトは図形と文字の2つの形式を使用した。図形の場合は赤、青、緑、白、黄色、紫の6色と四角、丸、三角の3つの種類の形が組み合わせられた全18種類の図形の中から16個がランダムで選択され、探索画面に表示される(図2)。文字の場合は、A~Zまでの全26種類のアルファベットから16個がランダムで選択され、探索画面に表示される(図3)。

また、情報提示デバイスに提示するオブジェクトの個数を変化させることによって、探索課題の情報量を変化させた。今回の実験では探索するオブジェクトを1, 3, 5個とすることによって、情報量を変更している。提示情報が複数の場合、左から順番にオブジェクトについている数字を発声することで探索完了となる。図4に図形探索における情報提示(上から1,3,5個提示)、図5に文字探索における情報提示(上から1,3,5個提示)を示す。

#### 情報提示デバイス

探索課題では、探索画面とは別に探索すべきオブジェクトが提示されるデバイスを用いる。HMD、携帯端末のディスプレイによる情報提示の場合、それぞれのディスプレイに図4、図5示した形式で表示する。イヤホンを用いた情報提示の場合、探索すべきオブジェク

トを音声によって提示する。音声はTTS(Text To Speech)を使用し合成音声によって発生させた。実際の音声は、「赤の四角、R(アール)」のように発音し提示する。探索する情報が複数になると、「赤の四角→青の丸→黄色の三角」のように連続的に提示される。

トラッキング課題と探索課題を並列に実行し、探索課題における提示情報やデバイスを変化させ、トラッキング課題の成果を評価することで認知負荷の測定を行った。

## 4. 評価と考察

### 4.1 実験概要

評価実験の被験者は21~28歳の男性10名、女性3名の計13名であり、屋内の一室で行った。各被験者は以下の手順で実験を行った。

- (1) チュートリアル  
被験者にはまず、実際の課題の流れが説明されたFlashアニメーションを見てもらう。その後、本試験と同様の形式で練習を行う。3種類の情報提示それぞれで図形探索3回、文字探索3回の計6回を行ってもらい。実験内容を十分に理解していると判断したら、本実験を開始する。
- (2) 本実験  
3種類の情報提示それぞれで図形探索9回(図形の数を1つ、3つ、5つの3パターンに変化させて各3回ずつ)、文字探索9回(文字の数を1つ、3つ、5つの3パターンに変化させて各3回ずつ)を行う。
- (3) 評価  
後述のNASA-TLXを行ってもらい、その後アンケートをとる。

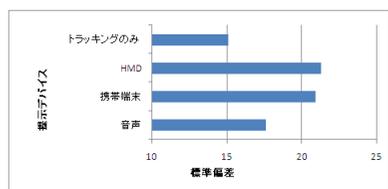


図 6 情報提示デバイス毎の標準偏差

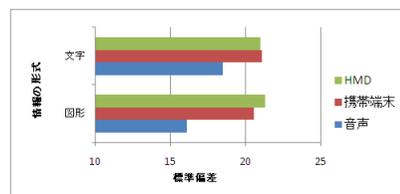


図 7 表示形式毎の標準偏差

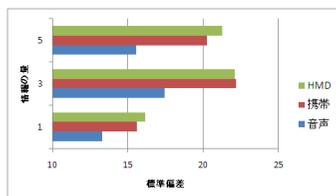


図 8 図形探索における情報の量毎の標準偏差

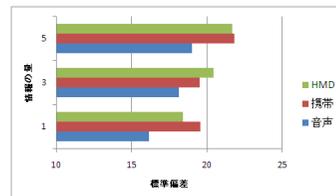


図 9 文字探索における情報の量毎の標準偏差

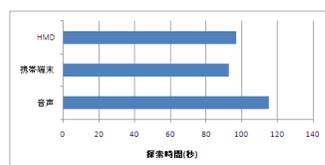


図 10 情報提示デバイス毎の総探索時間

## 4.2 評価手法と結果

評価は以下の 3 種類の方法により、客観的評価と主観的評価を行い結果をもとに考察する。  
課題の成果による評価

トラッキング課題の成果により、認知的な負荷を定量的に評価する。トラッキング課題では、マウスポインタとトラッキングする円の中心からの距離を 200 ミリ秒毎に記録する。1. トラッキング課題のみの場合、2.HMD での探索課題発生中、3. 携帯端末での探索発生中、4. 音声での探索課題発生中の 4 つの状態に分けて記録する。それらのデータを情報の量、情報の形式によってさらに細分化する。各被験者について、トラッキング課題における円の中心とマウスポインタ間の距離の平均とそのばらつきである標準偏差を求め、それぞれの値について全被験者の平均をとり評価する。図 6 に情報提示デバイス毎の標準偏差を、図 7 に

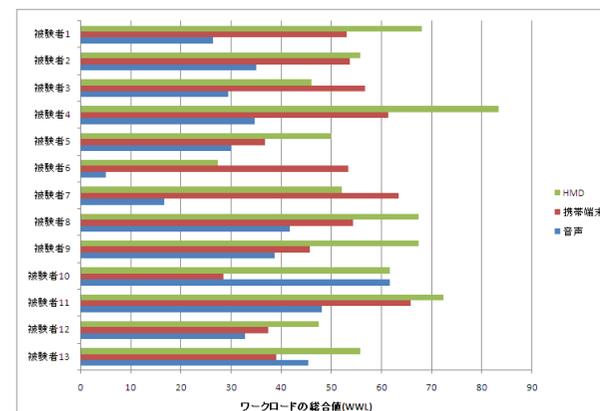


図 11 NASA-TLX による被験者毎の WWL

表示形式毎の標準偏差を示す。

また、以下に情報の量を変化させたときの成果を示す。結果は情報の形式毎に分け、図形探索における標準偏差を図 8 に、文字探索における標準偏差を図 9 に示す。

探索課題では、情報が提示されてから探索を完了するまでの総時間を 3 種類の情報提示デバイスについて記録した。図 10 にデバイス毎の探索時間を示す。

### NASA-TLX(task load index)

米国の NASA で開発されたタスクロード・インデックス (NASA-TLX)<sup>1)5)</sup> は主観的ワークロード尺度として広く用いられている精神的負荷を測定する手法である (リファー)。尺度は mental demand (知的・知覚的要求), physical demand (身体的要求), temporal demand (タイムプレッシャー), performance (作業成績), effort (努力), frustration level (フラストレーション) の 6 つである。これら 6 つの尺度を一対比較法によって評価する。全ての尺度の組み合わせは 15 対あるので、被験者はそれぞれの対毎に作業負担の要因としてより重要だと思うほうを被験者にそれぞれの対毎に選択してもらう。この比較によって後で行われる作業負担評定値に対して尺度が重みづけられる。被験者は、この一対比較法に加えて、HMD、携帯端末、音声の 3 種類の情報提示で行った課題に対してそれぞれ作業負担評定値をつけてもらう。それらの評定値に一対比較法によって求めた重みをつけることによりワークロードの総合値 (WWL) を求めた。

図 11 に各々の被験者のそれぞれの情報提示に対する WWL を示す。

アンケート

以下の項目についてアンケートを行い、その結果を示す。また、その回答理由についても記録した。

表 1 実験に関するアンケート

質問	HMD	携帯端末	音声
1. 3 種類の情報提示のうち、どの提示方法が一番わかりやすいと感じたか。	0	2	11
2. 3 種類の情報提示のうち、どの提示方法が一番負担に感じたか。	11	2	0

表 2 デバイスに関するアンケート

質問	はい	どちらともいえない	いいえ
3. 今回実験に使用した HMD を使用したいと思うか。	0	1	12
4. 普段着用している機器に情報提示されるとしたら使用したいか。	11	2	0

4.3 評価, 考察

実験結果をもとに情報提示デバイス、情報の量、情報の形式それぞれの特徴が認知活動に及ぼす影響を考察する。

4.3.1 情報提示デバイスが認知活動に及ぼす影響

HMD, 携帯端末, 音声の 3 つの情報提示に対して考察する。

客観的評価

行った実験の成果により、認知的な負荷を評価する。図 6 をみると、視覚提示である HMD, 携帯端末よりも聴覚提示である音声の成果が良い。評価実験の課題の性質として、トラッキング課題と探索課題共に視覚資源を使用する課題だったために、聴覚提示である音声ではモダリティの競合を避けることができたのが主な要因といえる。視覚の資源を使用するのタスクを行う場合、それに必要な情報を聴覚に提示することにより、認知的負荷を低減することが示された。

次に、HMD と携帯端末を比較すると、誤差の平均、標準偏差共にほぼ同じ成果であった。視覚への近接提示である HMD の長所は情報を取得するために視線の切り替えを必要としないことである。その点では視線の切り替えを必要とする携帯端末より認知的負荷が低いと考えられた。しかし、探索課題が視覚資源を使用するものである点、提示されている情報と同じ情報を探索する課題であったため、探索課題の情報と提示される情報が重なり、競合が起こったと考えられる。また、視線を切り替える必要はないが、提示された情報を見ると

課題画面と焦点を切り替える必要がある。これより、携帯端末の視線を切り替えるコストと、HMD の画面の競合、焦点の切り替えのコストが同程度であると考えられる。

図 10 をみると、探索の総時間は音声提示が最も長いことがわかる。一つの要因として、視覚提示が情報を常に表示し続けるのに対し、聴覚提示では情報の提示に一定の時間を必要とするため、提示自体に時間がかかってしまうことが挙げられる。さらに、情報を誤って認識した場合、再認識するために情報の提示を繰り返さなければならないという点も挙げられる。音声提示は認知負荷を低減する長所があるのに対し、情報の即時性という点では視覚提示に劣るという点は考慮しなければならない。

主観的評価

NASA-TLX によって、ユーザの主観的な精神的負荷を数値化することで定量化し、それぞれの情報提示に対して値を算出した。図 11 をみると、音声提示の WWL が最も低い被験者は 11 人/13 人であった。視覚的タスクが主な環境では聴覚資源に認知資源を分散することで、認知的負荷だけでなく精神的負荷も低減することが可能である。また、表 1 の質問 1 の結果をみると最もわかりやすい提示に対して音声と答えたユーザは 11 人/13 人であり、この結果からも音声提示の精神的負担は小さいといえる。その理由としては、視線を動かす必要がないという意見が多く、視覚資源の負担を減らすことによって負荷を低減できたといえる。悪かった点においては情報を記憶しておかなければならない、再確認できないなど聴覚提示の欠点が挙げられたがそのトレードオフを考慮しても聴覚へのモダリティの分散は効果的であるといえる。

また、HMD の WWL が最も高い被験者は 11 人/13 人であった。前節でも述べたが、視覚資源の競合が起こった事が一つの要因だと考えられる。携帯端末が情報提示と課題画面への視線の切り替えを必要とするのに対し、それぞれのディスプレイを片目で見ている HMD では焦点の切り替えを必要とする。視線の切り替えと、焦点の切り替えを比較するとユーザは後者に精神的負荷を感じる事がわかった。表 1 の質問 2 の結果をみると、HMD が一番負担になると答えたユーザは 11 人/13 人と精神的負荷が高いことがわかる。その理由としては、焦点を切り替えるのが困難という回答があったのに加え、タスク画面と提示画面が重なり競合するという意見もあった。視線の切り替えを必要としない HMD の利点は、焦点の切り替えの負荷とディスプレイの競合による負荷のデメリットの方が大きく、ユーザの精神的負荷は増加した。本実験で用いた HMD は、片目が完全にふさがってしまうものであるが、シースルー型の HMD などデバイスを改善することで精神的負荷、認知的負荷を低減することは十分可能であると考えられる。

### 4.3.2 情報の量、情報の形式が認知活動に及ぼす影響

図7をみると、視覚提示の場合、文字提示と図形提示の間に差は見られないが、音声提示の場合、文字形式より図形形式の成果が良いことがわかる。アルファベットなど言語情報でない記号的な音声の認知は、認知的負荷が高いことがわかる。

図8をみると、図形において、情報の量が3と5の場合を比べるとほぼ変化はないが、情報の量が1つの場合どのデバイスにおいても顕著に成果が良いことがわかる。また、図9の文字提示の成果と比較すると、情報量が3,5の場合図形の成果とほぼ変わらない。すなわち、図形提示の色+形の二段階による情報の認知は、情報量が少ないシンプルな場合有効であるが、情報量が増加すると認知負荷は増加し、文字提示と同程度になるということが示された。一方文字提示では情報量が増えた時の成果の悪化は少ない。文字が複数になった場合、図形に比べてまとめて認知するのが容易であるためと考えられる。

図形提示は情報量が増加すると認知負荷が増加することが示されたが、一方でシンプルな情報提示ならデバイスによらず認知負荷は低いということもまた示された。情報の量が3つ、5つである音声提示の成果と、情報の量が1つである視覚提示の成果が同程度であることから、例えば音声提示ができない騒音の多い環境などでは、情報提示をシンプルな視覚提示に置き換えることで同程度の認知負荷を保った情報提示を行うことができる。

## 5. 将来課題

### 5.1 モダリティ毎の認知特性を考慮した情報デザイン

本研究では各々のデバイス毎に負荷を測定した。今後は評価実験によって得られたモダリティ毎の認知特性を実際のサービスやアプリケーションをデザインする手段として利用する必要がある。例えば、ユーザの負荷を低減する最も明快なアプローチは本研究で顕著にみられた音声の優位性を生かした聴覚提示を使用した情報提示を適所で用いることである。しかしながら、提示に時間を必要とする音声提示では情報提示のスピードという点では視覚提示に劣る。それぞれのサービスにおいて、情報の即時性の重要度に応じて、提示のモダリティを変化させる必要がある。

また、本研究では提示する情報を図形、文字などの低水準なレベルの情報で認知負荷を測定した。これらの情報が実際のサービスで提供されるような情報に適用できるかどうかを検証する必要がある。それに加えて、それぞれのモダリティを組み合わせるマルチモーダルインタラクションの場合の認知負荷がどのように変わっていくかも検証する必要がある。

### 5.2 状況に応じた動的な情報提示手法の選択

本研究では、評価実験はユーザの認知活動に影響のない理想的な室内環境で行った。しかし、実際は刻一刻と状況が変化するモバイルコンピューティング環境下でコンピュータとインタラクションすることを想定して情報提示をデザインしなければならない。例えば前節で述べた聴覚提示の特徴は騒音のある環境を考慮していない。課題の1つは本研究で考慮していない周囲の環境というパラメータを加え、環境によってどのようなモダリティや提示形式が最適な提示方法であるかを明らかにすることである。

最終的な目標としては、刻一刻と状況が変化するモバイルコンピューティング環境において、自動的に負荷の低いモバイルサービスの最適な情報提示を提供することである。将来ウェアラブルコンピュータを日常的に使用することを想定し、以下にシナリオを述べる。

- (1) 携帯端末、ウェアラブルコンピュータの種々のセンサにより環境のコンテキストを取得する。
- (2) モバイルサービスはコンテキスト情報をもとに、最適なモダリティ、表示形式を選択する。
- (3) 情報を提示する携帯端末またはウェアラブルコンピュータを選択し情報が通知される。

このようなシナリオを実現するためには、個々で認知的、精神的負荷の低いウェアラブルデバイスが必要である。次節でウェアラブルデバイスについて述べる。

### 5.3 認知的負荷・精神的負荷の低いウェアラブルデバイスの開発

本研究では評価実験から、HMDの認知的負荷、精神的負荷が高いことが明らかになった。モバイルコンピューティング環境において、現在商品化されているHMDはモバイルコンピューティング環境での実用レベルには達していないと言える。その要因として、1. 片目の視覚資源がHMDのディスプレイに奪われてしまうこと、2. 情報を認知する際、焦点の切り替えが必要であること、3. HMDのディスプレイとバックグラウンドと競合してしまうこと、などが評価実験により観測された。これらの問題を解決するには、シースルー型のHMDなどが有効であると考えられる。例えば眼鏡のレンズに情報が提示されるケースを考える。レンズに何も情報が表示されていないとき、普段眼鏡をかけているときと変わらず、視覚的資源を奪われることはなく、資源の競合も生じない。レンズに情報を表示するとき、よりシンプルな情報を提示することでユーザの負荷を最小限に抑えることが可能である。例えばメールを受信したときに差出人のみをレンズに表示し、ユーザは情報の重要度に応じて

メールを開くかどうかを判断する。現在はメールの内容を確認する場合、通知から直接開封の段階へ移行するが、通知から開封の間に”簡易情報提示”をウェアラブルデバイスによって挟むことで、より高度なインタラクションを実現することができると思われる。

## 6. 関連研究

Baber<sup>6)</sup>らはHMDとゲームを用いて、ウェアラブルデバイスの認知的負荷を評価する実験を行った。実験では、ユーザがゲームをクリアするために、ゲームを行う画面とは別の画面で情報が提示される。知覚モダリティ（視覚、聴覚）と情報の近接性（近接、遠隔）と情報処理のコード（テキスト形式とグラフィック形式、スピーチ入力とボタン入力）の組み合わせを用いて、情報提示のパターンを変化させている。知覚モダリティ、情報の近接性の組み合わせを考慮している点は本研究と類似しているが、本研究では提示する情報の量を考慮している点で異なる。

Parush<sup>7)</sup>は視覚、聴覚の異なるモダリティによる情報提示が認知的活動にどのような影響を及ぼすかを実験によって測定した。実験は二重課題法を用いて行い、メインタスクはトラッキング課題、サブタスクは音声によるデータ入力課題とした。データ入力に必要な情報は視覚、聴覚の2つの形式で提示される。トラッキング課題の難易度を変化させ、視覚提示、聴覚提示それぞれの場合におけるデータ入力課題の成果がどのように変化するかを評価した。トラッキング課題を用いた二重課題法を使用している点、知覚モダリティによる分類などは本研究と類似しているが、本研究ではトラッキング課題の難易度は変えず、もう一方の課題に必要な情報提示を変化させることでトラッキング課題にどのような影響を及ぼすかを観測する。また、知覚モダリティに加えて、情報の近接性、情報の量に着目している点で異なる。

## 7. おわりに

本研究では、認知的負荷、精神的負荷の低い情報提示手法を提案するために、二重課題法を用いた評価実験を行い、情報提示デバイス、情報の量、情報の形式という3つの観点から認知活動に及ぼす影響を評価した。

視覚資源を主として使用するタスクにおいては、聴覚提示により負荷が低減されることを明らかにした。また、携帯端末、HMDの認知的負荷は同程度であるのに対し、精神的負荷はHMDの方が顕著に高かったなどの特徴を抽出した。また、ウェアラブルコンピュータのユーザビリティの向上、モダリティ毎の認知特性を考慮した情報デザインによる負荷の低減

の必要性などの将来課題を提示した。今後はこれらの将来課題について引き続き取り組む。

## 参考文献

- 1) Damos, D.L.: *Multiple-task performance*, Taylor Francis (1991). ISBN: 0-85066-757-7.
- 2) Addie Johnson, R. W.P.: *Attention: Theory and Practice*, Sage Pubns (2003). ISBN:978-0761927617.
- 3) Burke, J.L., Prewett, M.S., Gray, A.A., Yang, L., Stilson, F. R.B., Coovert, M.D., Elliot, L.R. and Redden, E.: Comparing the effects of visual-auditory and visual-tactile feedback on user performance: a meta-analysis, *ICMI '06: Proceedings of the 8th international conference on Multimodal interfaces*, New York, NY, USA, ACM, pp.108-117 (2006).
- 4) Alan Dix, Janet Finlay, G. D.A.: *Human-Computer Interaction*, Prentice Hall: Third Edition (2003).
- 5) 芳賀 繁: メンタルワークロードの理論と測定, 日本出版サービス (2001).
- 6) Baber, C., Knight, J., Haniff, D. and Cooper, L.: Ergonomics of wearable computers, *Mob. Netw. Appl.*, Vol.4, No.1, pp.15-21 (1999).
- 7) Parush, A.: Speech-Based Interaction in Multitask Conditions: Impact of Prompt Modality, *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, Vol.47, pp.591-597(7) (Fall 2005).