

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年 5月28日現在

機関番号：13102

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21700806

研究課題名（和文） 効果的なeラーニング・マルチメディア・コンテンツの開発法

研究課題名（英文） Development method of effective multimedia contents in e-Learning

研究代表者

安藤 雅洋（ANDO MASAHIRO）

長岡技術科学大学・工学部・助教

研究者番号：00345539

研究成果の概要（和文）：本研究では、マルチメディア・eラーニング環境において、ポインタにより聴覚コンテンツと視覚コンテンツの同期を支援する教材提示方法を提案し、実験でアイマークレコーダを用いて視覚と聴覚の同期が改善されることを示した。また、eラーニングにおいては、タブレットPCを利用した画面上への直接のメモ書きを行いながらの学習によって、外的認知負荷が軽減され、学習効果が高まることを示した。

研究成果の概要（英文）：In this research, we propose a pointer-presentation method for e-learning/multimedia materials to support the synchronization of auditory and visual content, and shown that auditory and visual synchronization can be improved with this method based on the results of a quantitative evaluation by experiments using an eye-mark recorder. In e-learning, we also showed that external cognitive load was reduced and learning effect was heightened by direct memo writing to a screen using a tablet PC, in e-learning.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2010年度	700,000	210,000	910,000
2011年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：科学教育・教育工学・教育工学

キーワード：eラーニング、教材開発

## 1. 研究開始当初の背景

教育工学や教育心理学の分野において効果的なコンテンツ開発手法は、学習中の認知負荷（cognitive load）を如何に減少させるかという問題に帰着させることが多い。学習中の認知負荷は、(1)教材の難易度によってもたらされる本来の認知負荷、(2)教材の提示方法に関する外的認知負荷、に分類される。本来の認知負荷とは教材の難易度によってもた

らされる認知負荷であり、学習者のレベルに適応した難易度の教材でなければ認知負荷は高くなる。外的認知負荷とは、教材の提示方法に関する認知負荷であり、説明が悪文であったり、字が小さいなどコンテンツの提示方法が悪いために生じる。本研究では、この外的認知負荷を減少させることに重きを置いている。

学習中の認知負荷を表現できる人間の情

報処理モデルの1つに「デュアル・チャンネル・モデル」がある。デュアル・チャンネル・モデルは、人間の聴覚と視覚それぞれ情報処理を行う独立なチャンネル、聴覚チャンネルと視覚チャンネルが存在し、それら二つにそれぞれ決まった容量があると仮定したモデルである。このモデルでは、一方のチャンネルを使っていなくても、もう一方のチャンネルの作業記憶容量が増えるわけではないので、二つのチャンネルを同時に使うことが効率的な作業記憶容量の利用法であると考えられる。さらに二つのチャンネルを通過する情報が同期することにより、二つのチャンネル内の聴覚情報と視覚情報が相互作用し、情報伝達効率をより強化するというモデルである。情報伝達効率を高め、認知容量の配分を効率化し意味統合に認知資源を多く使うことで、内容理解を深めることができ、結果として記憶保持も効率化させると考える。

マルチメディア教材研究の第一人者、Mayer は、マルチメディア (Multimedia) を「言語 (ナレーション、文章) と図 (絵、写真、図表、動画) を同時提示する方法」と定義している。彼は、デュアル・チャンネル・モデルに基づき、多くの実験を行うことで、視覚コンテンツである図や動画と聴覚コンテンツであるナレーションを同期して提示するマルチメディア教材が学習に効果的であると報告している。これらの実験は、多くの研究者によって追試され、その有効性が確認されている。ただし、これらは、教師が学習者集団にコンテンツをプロジェクター提示しながら、説明を行い、そのあとに実施されるテスト結果の比較を行うというものである。すなわち、聴覚コンテンツと視覚コンテンツを同時に提示しただけで、聴覚チャンネルと視覚チャンネルの同期が取れることを暗黙に仮定している。一般には聴覚コンテンツと視覚コンテンツを同時に提示しただけでは、その同期は保障されていない。また、eラーニングでは、教師が存在する対面授業と異なり、自律的に学習を行わなければならない、従来の対面授業での実験結果とは異なる可能性が高い。特にマルチメディア教材では、学習者が時間的、空間的に同期が取れずに聴覚コンテンツが視覚コンテンツ中のどこを示しているのか学習者に分からないことがある。この場合、デュアル・チャンネル・モデルにおける聴覚チャンネルと視覚チャンネルの相互作用が生起しないだけでなく、同期のための探索に認知容量資源が大きく用いられ、結果として内容理解を著しく損なうことも有り得る。

しかし、多くのマルチメディア・コンテンツに関する研究は、詳細な作成方法には言及していない。また、eラーニングにおけるそれらの効果についても検討がなされていない。

い。

## 2. 研究の目的

本研究では、人間の情報処理モデルの1つであるデュアル・チャンネル・モデルに基づき、アイマークレダを使い受講者の眼球運動を測定することで、eラーニング受講中における効果的なコンテンツ提示方法を外的認知負荷軽減の観点から明らかにし、効果的なコンテンツ開発方法の詳細を示すことが目的である。

また、研究計画当初、eラーニング学習環境はPCによる受講が主体であった。しかし、近年、モバイル端末やタブレット端末の普及により学習環境も多様になってきている。学習方法も従来のキーボードを用いたものだけではなくなってきた。そして、学習者は受講中、ただコンテンツを視聴しているだけではない。学習者は何らかの方法で書込みやノートテイキングを行っている場合がある。近年、学習中における書込み行為やノートテイキングの有効性が指摘されている。eラーニングにおいても、ノートテイキングやメモ書きにより学習効果を高められることが期待される。そこで、本研究では、eラーニング学習中に用いられる様々な書込み方法を、eラーニング学習での様々な形式のコンテンツ提示環境の下で行い、学習効果の検証を行った。

## 3. 研究の方法

eラーニング環境における外的認知負荷軽減の手法について、教材提示方法および入力デバイスの観点から提案するため、人間の情報処理モデルの1つであるデュアル・チャンネル・モデルに基づき、検証実験を行った。

実験には眼球運動測定装置であるアイマークレコーダは接触型 (Nac EMR-8) と非接触型 (アイ・トラッカー Tobii X50) の両方を用いる。両方で測定することにより、被験者のコンテンツに対する注視点とモニタから視線が外れた場合の挙動も、より詳細に記録することができる。

(1) 聴覚コンテンツと視覚コンテンツの同期を支援するため、eラーニング・マルチメディア教材におけるポインタ提示法を提案し、実際に同期が生じたかどうかをアイマークレコーダで確認しながら、学習効果を分析した。デュアル・チャンネル・モデルに基づき、視覚コンテンツと聴覚コンテンツ、ポインタを同期して提示するマルチメディア教材が作業記憶容量の資源配分を効率化させるとともに伝達される情報量を増加させると仮定する。ポインタの有無での統制実験を、eラーニングでの以下のコンテンツ提示環境で実施した。

- ・ナレーションのみ
- ・テキスト(ナレーションの有無)
- ・静止画+ナレーション
- ・静止画+テキスト(ナレーションの有無)
- ・動画+ナレーション
- ・動画+テキスト+ナレーション

アイマークレコーダにより学習者の注視点を測定するとともに、記憶保持・内容理解テストおよびアンケート調査を行った。

(2)eラーニングにおけるノートテイキングやメモ書きの効果について、デュアル・チャンネル・モデルに基づいて分析を行った。具体的には、eラーニングでの書込みに用いられる以下の方法を用いた。

- ① コンテンツ提示のみ(書込み無し)
- ② PC外部の紙媒体(A4紙)へのメモ書き
- ③ eラーニング提示コンテンツ外部へのキーボードによるメモ書き
- ④ eラーニング提示コンテンツ上へのペンタブレットによる書込み(ペンタブレットでは、手元のタブレット上に専用ペンを使って書込む。そのため、画面への直接的な書込みはできない)
- ⑤ eラーニング提示コンテンツ上へのタブレットPCによる書込み(ペンを使って画面に直接書込める)

上記の書き込み方法を、以下のマルチメディア・コンテンツで検証した。

- ・テキスト+ナレーション
- ・テキスト図+ナレーション
- ・テキスト+静止画+ナレーション
- ・静止画+ナレーション
- ・動画+ナレーション

アイマークレコーダで学習者の注視点を測定し、記憶・理解テスト、アンケート調査およびメモ書きの評価により、各デバイスの評価を行った。

#### 4. 研究成果

(1)の実験の結果、以下の知見を得た。

- ① デュアル・チャンネル・モデルに基づくマルチメディア教材の有効性を追認する分析を行った結果、視覚コンテンツのみのほうが聴覚コンテンツのみよりテスト結果が良かったが、それらに静止画コンテンツを加えただけで、テスト結果が逆転することが示された。すなわち、先行研究では暗黙に仮定されてきたデュアル・チャンネル・モデルの妥当性を示すことができた。
- ② アイマークレコーダを用いて得られた学習者の注視点データより、動画以外で、eラーニングにおけるポインタ提示によって学習者の視点が有意にコントロールされ、聴覚チャンネルと視覚チャンネルの同期性が向上することが確認され

た。

- ③ ポインタによる聴覚チャンネルと視覚チャンネルの同期から、深いレベルの理解を問うテストにおいてポインタの効果が確認された。
- ④ 深いレベルの理解を問うテストから、動画を用いたコンテンツ、静止画を用いたコンテンツ、テキスト・コンテンツの順に正答率が高くなり、この順序はポインタを導入しても変化することは無いことが分かった。
- ⑤ 3日後にも同一のテストを行った結果から、ポインタの効果は作業記憶だけでなく、長期記憶での記憶保持にも効果があることが示された。

アンケートを行った結果、マルチメディア教材におけるポインタ提示によって、学習者のコンテンツ視聴時の負担が軽減されていると感じていることが示された。結果として、デュアル・チャンネル・モデルに従い、ポインタにより注視点誘導を行うことで探索による認知負荷を軽減し、聴覚チャンネルと視覚チャンネルの同期を効率的に行うことができることが示された。その結果、作業記憶内の資源が有効活用でき、内容理解を支援できることも示した。

従来研究では動画コンテンツが良いことが示されてきており、それと同様にeラーニングにおいても、ポインタの有無にかかわらず、動画コンテンツの学習効果が良いことが示された。これは、よく設計された動画コンテンツが学習者の注視点をナレーションに同期して誘導していることを示している。しかし、一般にはこのような動画コンテンツの制作コストは高く、また、動画で表現できる内容も制限されている。

本研究では、ポインタ提示により、静止画コンテンツが動画とほぼ同等にナレーションと同期が取れ、学習効果も高まることを示した。静止画コンテンツは、制作コストが低だけでなく、表現できる内容も動画と比較して広範囲である。さらに、テキストを静止画に挿入した場合、聴覚情報が多くなりすぎ、聴覚と視覚の同期がとりにくくなり学習を阻害することも示した。このような結果より、eラーニングでは、テキストを挿入しない静止画とナレーションをポインタを用いて同時提示することが学習効果を高める手法であることが示唆された。

(2)の実験の結果、以下の知見を得た。

- ① キーボードと、手書きでの誤記率を比較した結果、手書きでは書込みにかかる外的認知負荷が少なく誤記率が低い。
- ② アイマークレコーダを用いた学習者の注視点測定結果から、タブレットPCではデュアル・チャンネル・モデルにおけ

る聴覚チャンネルと視覚チャンネルの同期を取りやすい。

- ③ 学習後テストと後日テストの結果から、コンテンツに直接メモを書き込んだ場合、学習者の理解、記憶保持が高い。
- ④ 学習者自身のメモ書きを見直しさせた結果、タブレットPCによるメモ書きが、学習メモとしての正確性が高い。

アンケート結果からも学習者のタブレットPC 利用においてメモ書きの負担が軽減されている。

タブレットPC による e ラーニングでは、ナレーションに合わせて下線を引いたりペン先でなぞることで、聴覚コンテンツと視覚コンテンツの同期が支援され、マルチメディア教材の有効性を阻害することなく学習できることが示された。また、ナレーションを聞きながらのメモ書きは、書込み行為が作業記憶における聴覚情報と視覚情報の同期を誘発し、記憶を促進することを示した。このような結果より、「ナレーションを聞きながら書く」という行為そのものが学習を促進するメカニズムを示唆したことになる。そのため、e ラーニング環境でのメモ書きでは、タブレットPC の利用が最も学習効果を高める手法であり、効率的なメモ書きを支援できることを示した。また、テキスト、静止画、動画のコンテンツで比較し、テキストなしの静止画コンテンツでタブレットPC による学習効果が最も向上することも示した。

以上から、プレゼンテーション環境では動画とナレーションが最も効果的な教材提示法であることが従来研究で報告されているが、e ラーニング環境では静止画+ナレーションがコストパフォーマンスに優れた効果的なコンテンツであることが示唆された。

デュアル・チャンネル・モデルに基づく、マルチメディア教材に関する先行研究では、動画が最も学習効果が高いことが示唆されている。しかし、それらの結果は、機械動作や自然現象等のメカニズムなど、動画の利点が享受できる内容に限定されているともいえる。本研究でも、従来研究に従い、実験用コンテンツを作成し実験に用い、注視点をコントロールすれば静止画コンテンツが動画コンテンツとほぼ同等の学習効果があることを示した。実際の教材内容はより広範で動画で表現できない場合が多い。近年、文章や概念構造を図示して構造化する手法も多く提案されている。具体的には、知識構造を、(1)過程、(2)比較、(3)一般化、(4)一覧、(5)分類に分け、それぞれの知識構造に応じて、フローチャート、マトリクス、ネットワーク、箇条書き、階層図、といった図示して構造化する手法が提案されている。このようにテキ

ストも図示化することで、本論で主張するように静止画コンテンツのほうが動画コンテンツより拡張性が高いと予想できる。今後、より広範にわたるコンテンツ領域を整理し、コンテンツ内容を図示化する手法を用い、より広範囲のコンテンツで静止画コンテンツの有効性を示していくことが今後の課題である。

また、マルチメディア教材の効果には個人差があることが報告されている。本研究の知見も、学習者の能力によって効果が異なることが考えられる。今後、学習者の能力について詳細に調査し、本研究の知見が能力別にどう学習に影響するか、検証していくことが課題である。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

- ① 安藤雅洋、植野真臣、e ラーニングにおけるタブレット PC を用いた書込みの効果分析、日本教育工学会論文誌、査読有、35 巻、2 号、2011、109-123
- ② Masahiro Ando and Maomi Ueno、Effect analysis of pointer presentations on multimedia e-learning materials based on dual channel model、Japan Society for Educational Technology Journal、査読有、Vol.34、2011、59-73

[学会発表] (計 10 件)

- ① Masahiro Ando and Maomi Ueno、E-learning Using Tablet PC、World Conference on E-Learning in Corporate, Government, Healthcare & Higher Education (E-Learn 2011)、2011 年 10 月 19 日、Hawaii, USA
- ② 安藤雅洋、植野真臣、e ラーニングにおけるタブレット PC を用いた書込みの効果分析、日本教育工学会 第 26 回全国大会、2010 年 9 月 18 日、金城学院大学
- ③ 安藤雅洋、植野真臣、タブレット PC を用いた e ラーニング・コンテンツへの書込みの効果分析、教育システム情報学会 第 35 回全国大会、2010 年 8 月 26 日、北海道大学
- ④ Masahiro Ando & Maomi Ueno、Analysis of the advantages of using tablet PC in e-learning、The 10th IEEE International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT 2010)、2010 年 7 月 5 日、Sousse, Tunisia
- ⑤ 安藤雅洋、植野真臣、e ラーニングにおけるタブレット PC を用いた書込みの効

果分析、日本教育工学会研究会、2010年7月3日、電気通信大学

- ⑥ Masahiro Ando & Maomi Ueno、Analysis of effect of handwritten input in e-learning、World Conference on Educational Multimedia, Hypermedia & Telecommunications (ED-MEDIA2010),2010年6月29日、Toronto, Canada
- ⑦ Nagamori Masahito、Nagasawa Masaki、Ando Masahiro、Ueno Maomi、A system for recording and sharing unexpected problem behaviors in youth using web cameras、The Ninth IASTED International Conference on Web-based Education -WBE 2010-、2010年3月15日、Sharm El Sheikh, Egypt
- ⑧ 安藤雅洋、植野真臣、タブレットPCを用いたeラーニング・コンテンツへの手書き入力環境の効果分析、教育システム情報学会(JSiSE)2009年度第5回研究会、2010年1月23日、東北大学
- ⑨ 安藤雅洋、植野真臣、タブレットPCを用いたeラーニングの効果分析、日本教育工学会第25回全国大会、2009年9月19日、東京大学本郷キャンパス
- ⑩ 安藤雅洋、植野真臣、アイマークレコーダを用いた文章理解過程の分析、教育システム情報学会第34回全国大会、2009年8月19日、名古屋大学東山キャンパス

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

安藤 雅洋 (ANDO MASAHIRO)

長岡技術科学大学・工学部・助教

研究者番号：00345539