

動画を用いたインタラクティブな学習環境における認知負荷の効果の検討

浦尾 彰^{†a)} 三輪 和久[†]

Effects of Cognitive Load in Video-Based Interactive Learning Environments

Akira URAO^{†a)} and Kazuhisa MIWA[†]

あらまし 近年の情報技術の発展により、コンピュータを用いた学習環境が広まりつつあり、学習教材としての動画の利用が進められてきている。動画を用いて有効な学習環境を構築するには、学習者の認知負荷という観点から検討することが重要であると指摘されている。本研究では、動画を用いたインタラクティブな学習環境において、再生速度の変化により学習者が受ける認知負荷を操作し、認知負荷が学習効果、学習行動にどのような影響を及ぼすのかについての検討を行った。実験的検討の結果、動画を用いたインタラクティブな学習環境における認知負荷の増減は、問題解決方略の選択に影響を及ぼすが、学習効果には影響を及ぼさないことが示された。また、学習者は、認知負荷の増減に応じて、適応的に行動を行うことが示され、認知負荷が学習行動に影響を及ぼす可能性が示唆された。

キーワード 認知負荷、インタラクティブ性、学習環境、スキル学習

1. ま え が き

近年の情報技術の発展に伴い、e-learning や Web-Based Training に代表されるように、コンピュータを使用した学習環境が広まりつつあり、学習教材としての動画の利用が進められてきている [1], [2]。

一般には、動画を利用することにより、より大きな学習効果が得られるという直感があると思われるが、これまでの実験的研究によると、動画を利用することは必ずしも効果的ではないということが報告されている [3]。その原因として考えられているのが、人間の認知的な処理にかかわるものであり、認知負荷という観点から検討することの重要性が指摘されている [4]。

動画を用いた学習環境において、効果的に学習を行うためには、学習と直接関連しない認知負荷を小さく抑え、学習に集中的に認知資源を割り当てることができる環境を構築することが重要となる [5], [6]。しかし、動画のもつ動きの速さや複雑性という特徴が原因となり、内容についていけない状況や、どこに注目してい

いのか分からない状況が生じてしまうことがある。それらが学習に関係しない認知負荷を増加させてしまい、知覚や理解に障害を与え、それが原因となって、十分な学習効果が得られないことがあると指摘されている。

このような動画の欠点を克服するかぎとなる要素として、動画の速度調整、停止、再生、見直し等の機能がもたらすシステムのインタラクティブ性が挙げられている [3], [7], [8]。これは、学習者が速さについていけない状況になった場合には動画を停止し、また、内容についていけない場合には、振り返り見るということが自由にできる機能を提供することにより、先に挙げられた欠点を克服しようという試みである。このようなインタラクティブ性のもたらす効果の検討として、インタラクティブ性を有するシステムにおける学習と、インタラクティブ性をもたず、動画をはじめから最後まで流して視聴することしかできないシステムにおける学習との比較・検討が進められている [9] - [11]。その結果、インタラクティブ性をもったシステムにおける学習は、インタラクティブ性をもたないシステムでの学習と比較し、効果的に学習が行えると報告されている。

これらは、学習者はシステムのもつインタラクティブな特徴により、学習に関連しない認知負荷が増加す

[†] 名古屋大学大学院情報科学研究科, 名古屋市
Department of Information Science, Nagoya University,
Furo-cho, Chikusa-ku, Nagoya-shi, 464-8601 Japan
a) E-mail: urao@cog.human.nagoya-u.ac.jp

ることを防ぐための行動、すなわち、認知負荷を調整するための行動をとることが可能となっていることの効果と考えることができる。また、このような学習行動が、効果的に学習を行うための重要な要素となっていると考えられる。

しかし、これまでの研究では、学習者がこのようなインタラクティブな特徴を使用して、どのように認知負荷の調整を行っているのかという点についての詳細な検討はなされてこなかった。また、認知負荷の調整を行うための学習行動が、どのように学習効果と結び付いているのか、その調整方法により学習効果に差はあるのかという点についての検討もなされてこなかった。

以上の背景に基づき、本研究では、動画を用いたインタラクティブな学習環境における認知負荷の増減が、学習効果、学習行動にどのような影響を及ぼすのかについて、詳細な実験的検討を行う。

本研究では、工作や組立てなどの学習領域を対象とする。この理由は、本学習領域は、学習教材として動画を用いる際に重要とされる、「時間的変化」、「空間的变化」という特徴 [7], [8] を有するためである。また、本領域において動画を用いた学習を行う際には、動画を視聴し、実際に作品の作成を行うことが必要となる。これより、インタラクティブな特徴が十分に活用されることが期待されることも、重要な要素である。

また、使用する材料としては、LEGO 社のロボット作成キットであるマインドストームを用いた。これは、小学校から大学・企業に至るまで、幅広い実践・活用が行われているためである [12]。

本研究では認知負荷に関連する要因として、動画の再生速度を取り上げる。これは、先に挙げられたように、動きの速さが原因となり、動画を用いた学習時における認知負荷が増減することが指摘されているためである。

2. 実験システム

以下では、本研究で使用された実験システムの概要について述べる。実験システムの概観を図 1 に示す。本システムは、動画の再生装置とコントローラから構成される。本システムの利用者は、ディスプレイ上に動画で示されるマインドストームの作品作成プロセスを視聴し、実際にそのプロセスを追従することによって、組立てスキルの学習を行う。

本システムで使用する、学習コンテンツとしての動



(a) Replay screen (b) Foot controller

図 1 実験システム概観

Fig. 1 Overview of an experimental system.

画は、マインドストームの作成に熟達した作成者の作成プロセスを、頭部に固定された小型カメラにより撮影した。これは、作成者の視野がとらえられた動画を使用することにより、正確なプロセスの追従を支援し、学習に集中できる環境が提供できると考えたためである。

本システムでは、コントローラとして、マウス、及びフットコントローラが用意されている。システムの利用者は、コントローラで動画の一時停止、再生、少し進む・戻る、特定の位置へのジャンプを行うことが可能であり、それらによってシステムのインタラクティブ性が実現されている。

本研究では、バックグラウンドで動画の再生速度を調整できるようにシステムの設計を行い、学習者の認知負荷の実験的操作を可能とした。すなわち、再生速度が速い部分では、学習者の認知負荷は大きくなり、逆に再生速度が遅い部分では、学習者の認知負荷は小さくなる考えた。また、コントローラの操作履歴が取得されるように構成された。

3. 実験

先に述べられた実験システムを使用し、動画を用いたインタラクティブな学習環境における認知負荷の増減が学習にどのような影響を及ぼすのかを実験的に検討した。学習の対象となった作品を図 2 に示す [13]。

3.1 被験者

マインドストームの初心者である大学学部生 56 名が実験に参加した。なお、実験中におけるシステムの操作履歴に基づき、全体の操作回数が平均値 $\pm 2SD$ の範囲に収まらなかった 5 名を分析対象から除外した。結果として、ギア条件、滑車条件、統制条件の 3 条件に各 17 名が無作為に割り当てられた (実験条件については、以下の 3.2 参照)。

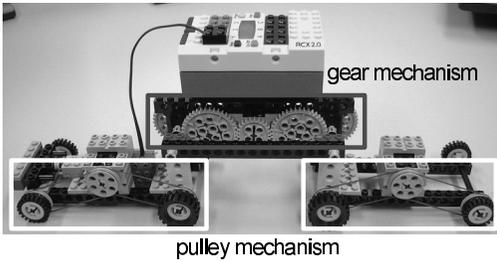


図 2 作成作品

Fig. 2 A creature produced in learning phase.

3.2 実験条件

実験条件は以下の三つである。

- (1) ギア条件：ギア機構（図 2 中央部）作成時に再生速度を加速させ、滑車機構（図 2 左右タイヤ駆動部）作成時に再生速度を減速させる。
- (2) 滑車条件：ギア機構作成時に再生速度を減速させ、滑車機構作成時に再生速度を加速させる。
- (3) 統制条件：再生速度の操作を行わない。

なお、再生速度は加速時に 1.4 倍速、減速時には 0.7 倍速とした。これは、4 名を対象とした予備実験により、これらの速度は明確に速さ（遅さ）を感じると報告されたためである。

3.3 手続き

実験は、次のような手続きで、個別に行われた。

- (1) プレテスト（10 分）
- (2) 学習フェーズ（最大 40 分）
- (3) ポストテスト（10 分）
- (4) 作成テスト（10 分）

次に各手続きについて述べる。

3.3.1 プレ・ポストテスト

プレ・ポストテストは、学習フェーズの活動を通してパーツ、及びパーツの組合せといった最も基礎的な知識にどのような変化が生じるのかを確認するために行われた。問題は、あるマインドストームの部分機構（複数個のパーツが接続されたもの）の写真が提示され、それを構成するために、どのパーツが何個必要となるかを答えるというものである。プレ・ポストテストでは、2 種類、各 8 問の問題が用意された。1 種類は、学習フェーズで作成が行われる作品のギア機構に含まれるパーツの組合せに関する問題であり、もう 1 種類は滑車機構に含まれるパーツの組合せに関する問題である。2 種類の問題群を用意したのは、学習フェーズにおける認知負荷の操作と、学習される機構に関連

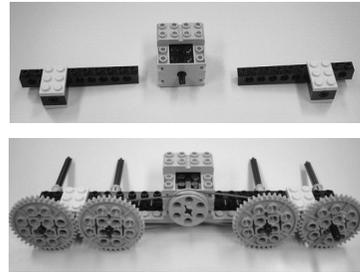


図 3 モータ、障害棒付き棒、及び作成テスト作品例

Fig. 3 A motor and two beams on which obstruction parts are connected and an example product in performance test.

があるのかを確認するためである。

3.3.2 学習フェーズ

学習フェーズにおいては、実験システムを利用して図 2 に示される作品の作成を行った。具体的な作成手順は、(1) ギア機構箇所補強部の作成、(2) ギア機構動力伝達部の作成、(3) その他車体部の作成 1、(4) 滑車機構動力伝達部の作成、(5) 滑車機構箇所補強部の作成、(6) その他車体部の作成 2 となる。

本フェーズのうち、(2)、(4) の動力伝達機構部の作成時に限定し、動画の再生速度を操作することにより、認知負荷の操作を行った。なお、動画の再生速度はシステムにより自動制御される。

3.3.3 作成テスト

作成テストは、マインドストームの基礎的なスキルの一つである、ある目標を達成する機構を作成するという観点から行われた。課題内容は、モータ 1 個と障害棒付きの棒 2 本が用意され、棒 2 本をモータに固定し、障害物を回避してモータの動力を棒の両端に伝えるというものである。具体的な完成例を図 3 に示す。このように、モータを中心として、両端に二つの棒を固定し、ギアと滑車等の組合せにより障害物を回避して、モータの動力を棒の両端まで伝えることが課題の要件となっている。

本課題は、学習フェーズで作成した作品の動力伝達機構の部分機構を使用することにより、問題が解決できるように設定されている。具体的には、図 2 の中央部に示される「ギアの組合せにより障害物を回避し動力を伝える機構」（ギア機構）、または、図 2 の左右に示される、「滑車を利用しタイヤを駆動する機構」（滑車機構）を利用することにより、本課題の要件が達成される。つまり、学習フェーズでの学習が有効に行われていれば、本課題を解決できることとなる。

4. 仮説と予測

ここでは、本実験の仮説と予測について述べる。

[仮説1] 再生速度の加減速により、認知負荷の操作が可能となる

学習フェーズにおいて動画が加速されると、学習者は、時間当りに行う認知的な情報処理の量が増し、通常の再生速度のときよりも、認知負荷が増加することが予測される。また、同様の理由で動画が減速された箇所では、通常の再生速度のときよりも認知負荷が減少すると予測される。このように、動画の再生速度の加減速により、認知負荷の操作が可能となると予測される。

加速された箇所においては、認知負荷の増大により、システムのコントローラを利用して、より多くの停止や見直しの「操作」が行われることが予測される。一方、減速された箇所においては、より少ない「操作」で作成を行っていくことが予測される。具体的には、ギア機構箇所の作成においては、ギア条件の操作が最も多く、続いて、統制条件、滑車条件の順に操作が減少することが予測される。また、滑車機構箇所の作成においては、滑車条件の操作が最も多く、続いて、統制条件、ギア条件の順に操作が減少することが予測される。

[仮説2] 認知負荷の増減により、学習時間が増減する

認知負荷が増加された箇所では、より多くの操作を行うことが予測されることから、当該箇所の機構を完成させるのにより多くの時間を要すると予測される。また、認知負荷が減少された箇所では、操作の減少が予測され、当該箇所の機構を完成させるのに要する時間が短くなると予測される。

具体的には、ギア機構箇所の作成においては、ギア条件の学習時間が最も長く、続いて、統制条件、滑車条件の順に学習時間が短くなることが予測される。また、滑車機構箇所の作成においては、滑車条件の学習時間が最も長く、続いて、統制条件、ギア条件の順に学習時間が短くなることが予測される。

[仮説3] 認知負荷が増加された箇所の機構の使用が促進される

認知負荷が増加された箇所においては、学習者は作成に困難さを感じると予測される。しかし、システムがインタラクティブ性を有することにより、学習者は認知負荷が過負荷状態になることを防ぐことが可能となると考えられる。この際には、当該箇所の作成にお

いてより多くの操作が必要となり、積極的なかわりをもつことが必要となる。このことにより、認知負荷が増加された箇所には、より多くの注意が向けられることとなり、学習フェーズに続いて行われる作成テストにおいて作品の作成を行う際には、その機構が選択的に使用されることが予測される。一方、認知負荷が減少された箇所については、より容易に作成を進められることから、当該箇所への積極的な関与は生じず、当該箇所の使用は促進されないと予測される。

具体的には、作成テストにおいて、ギア条件は統制条件に対して、ギア機構をより多く使用することが予測される。また、滑車条件は統制条件に対して、より多く滑車機構を使用することが予測される。

[仮説4] 認知負荷が増加された箇所の学習が促進される

仮説3と同様に、認知負荷が増加された箇所においては、より多くの操作が必要とされ、当該箇所に対し積極的なかわりをもつことが予測される。これより、認知負荷が増加された箇所に関する学習が促進されることが予測される。一方、認知負荷が減少された箇所については、当該箇所への積極的な関与は生じず、学習は促進されないと予測される。

具体的には、プレ・ポストテストにおいて、ギア条件は、ギア機構に関連する問題において、他の2条件よりも成績が向上し、滑車条件は、滑車機構に関連する問題において、他の2条件よりも成績が向上することが予測される。また、作成テストにおいては、ギア条件はギア機構を用いて作品を完成させる学習者が多く、滑車条件は滑車機構を用いて作品を完成させる学習者が多くなると予測される。一方、統制条件ではそのような偏りが生じないと予測される。

5. 実験結果

以下では、実験結果を示す。

学習フェーズにおいて、すべての被験者が作品を完成させることができていた。なお、プレテストの成績において、3条件間においてマインドストームの先行知識に差は認められなかった（ギア機構に関連する問題： $F(2, 48) = 0.07$, n.s.; 滑車機構に関連する問題： $F(2, 48) = 0.61$, n.s.）。これにより、3条件の被験者群の等質性が保証された。

5.1 再生速度の加減速による認知負荷の操作

再生速度の加減速による認知負荷の操作の検討として、学習フェーズにおける、システムの操作履歴の分

析を行った。動画再生時における、一時停止（一時停止状態からの再開ボタンの使用回数と同数）を「一時停止（再生）」としてカウントし、動画中の特定の位置への移動、少し進む・戻るボタンの使用回数を「ジャンプ」としてカウントした。

ギア機構作成時における、操作回数の分析結果を図4に示す。1要因の分散分析の結果、一時停止（再生）、ジャンプの双方において、条件の主効果が認められた（一時停止（再生）： $F(2, 48) = 4.41, p < .05$ ；ジャンプ： $F(2, 48) = 5.48, p < .01$ ）。HSD法を用いた多重比較の結果、一時停止、ジャンプの双方において、ギア条件と滑車条件、ギア条件と統制条件の間に有意差が認められた（一時停止（再生）： $MS = 74.0, 5\%$ 水準；ジャンプ： $MS = 16.40, 5\%$ 水準）。これより、ギア機構作成時に、ギア条件は、他の2条件と比較し、より多くの操作（一時停止（再生）、ジャンプ）を行っていたことが確認された。一方、滑車条件においては、統制条件に対する操作回数の減少は認められなかった。

次に、滑車機構作成時における、操作回数の分析結果を図5に示す。1要因の分散分析の結果、一時停止（再生）において、条件の主効果が認められた。しかし、ジャンプにおいては条件の主効果は認められなかった（一時停止（再生）： $F(2, 48) = 4.13, p < .05$ ；ジャンプ： $F(2, 48) = 1.62, n.s.$ ）。HSD法を用いた多重比較の結果、一時停止において、ギア条件と滑車条件、滑車条件と統制条件の間に有意差が認められた（一時停止（再生）： $MS = 58.74, 5\%$ 水準）。これより、滑車機構作成時に、滑車条件は、他の2条件と比較し、より多くの一時停止（再生）の操作を行っていたことが確認された。一方、ギア条件においては、統制条件に対する操作回数の減少は認められなかった。

更に、ギア機構・滑車機構以外の箇所を作成時における、操作履歴の分析結果を図6に示す。1要因の分散分析の結果、一時停止（再生）、ジャンプの双方において、条件の主効果は認められなかった（一時停止（再生）： $F(2, 48) = 0.46, n.s.$ ；ジャンプ： $F(2, 48) = 1.96, n.s.$ ）。これより、ギア機構・滑車機構以外の箇所の作成時の操作回数は、条件間で差は認められなかった。

5.2 学習時間

認知負荷の増減が、学習時間に及ぼす影響の検討として、学習フェーズにおける各機構の作成にかかった時間を学習時間とし分析を行う。分析は、教材の動画（当倍速）の再生時間を基準として、動画と同一の機

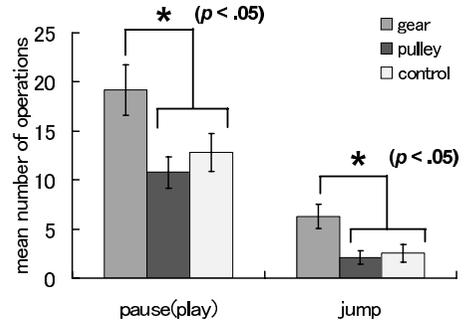


図4 ギア機構箇所の操作回数

Fig. 4 Mean numbers of operations during making gear mechanism.

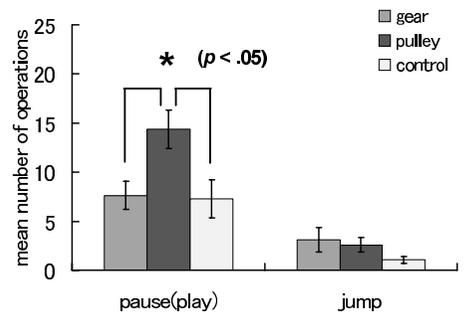


図5 滑車機構箇所の操作回数

Fig. 5 Mean numbers of operations during making pulley mechanism.

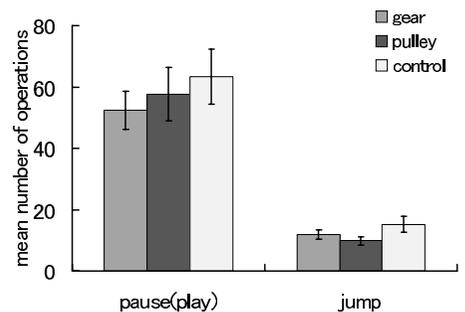


図6 ギア機構・滑車機構箇所以外の操作回数

Fig. 6 Mean numbers of operations in creating neither gear nor pulley mechanism.

構を作成するために、どれだけの時間がかかったのかという観点から行われた。具体的な基準は、実験者が、教材の動画と同一の機構を再現できていると判断した時点を機構の完成として分析を行った。ただし、作品の作成において重要ではないと考えられる、装飾部分における接続位置のずれや、部品不足というエラーについては、エラーを含んでいても完成とした。

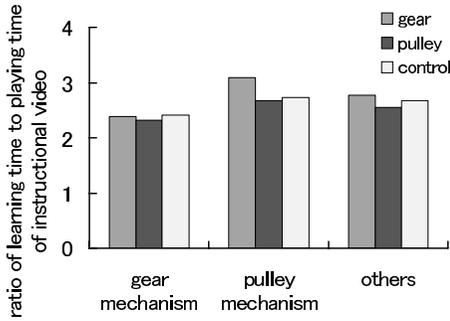


図 7 学習時間/教材時間比

Fig. 7 Ratio of learning time to playing time of instructional video.

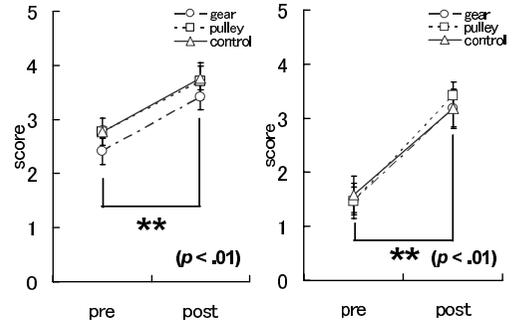
ギア機構箇所，滑車機構箇所，ギア機構・滑車機構以外の箇所を対象とした，基準となる動画の時間に対する，学習時間の比の結果を図 7 に示す。

作成された各機構において，実験条件にかかわらず，基準となる動画に対し，2.4~3 倍程度の時間がかかっていたことが示された。各機構における平均学習時間の比について 1 要因の分散分析を行った結果，有意差は認められなかった（ギア機構箇所： $F(2, 48) = 0.05$, n.s.；滑車機構箇所： $F(2, 48) = 0.21$, n.s.；その他の箇所： $F(2, 48) = 1.25$, n.s.）。これより，学習時間は，認知負荷の操作にかかわらず，全条件同程度であったことが示された。

5.3 プレ・ポストテスト

プレテストとポストテストの結果の分析は，シャフトについては，1 単位の長さまで間違いを認める形で分析を行った。これは，他のパーツと比較し，シャフトの長さについては目視による判断が困難なためである。結果を図 8 に示す。図 8 の横軸はプレテスト/ポストテストを示し，縦軸は正解数を示す。なお，満点は 8 点である。

3（条件：ギア条件，滑車条件，統制条件）× 2（プレテスト/ポストテスト）の分散分析を行った結果，ギア機構に関連する問題（図 8(a)）と滑車機構に関連する問題（図 8(b)）の双方において，プレテストからポストテストへの主効果のみが認められ，条件の主効果，及び交互作用は認められなかった（ギア機構，条件： $F(2, 48) = 1.11$, n.s.；プレ・ポストテスト： $F(1, 48) = 30.58$, $p < .01$ ；交互作用： $F(2, 48) = 0.01$, n.s.；滑車機構，条件： $F(2, 48) = 0.06$, n.s.；プレ・ポストテスト： $F(1, 48) = 57.98$, $p < .01$ ；交互作用： $F(2, 48) = 0.20$, n.s.）。これより，3 実験条件ともに



(a) Gear mechanism (b) Pulley mechanism

図 8 プレ・ポストテスト結果

Fig. 8 Comparisons of pre/post tests.

パーツ，及びパーツ組合せの知識について，学習効果が生じていたが，その効果は条件間で差がないことが確認された。

5.4 作成テスト

方略選択・学習効果の検討として，作成テストの分析を行う。まずはじめに，方略選択の結果，次に学習効果の結果を示す。

[方略選択]

作成テストにおける，問題解決方略としては，次の三つを挙げることができる。すなわち (1) ギア機構を用いて問題解決，(2) 滑車機構を用いて問題解決，(3) ギア機構，滑車機構双方を組み合わせて問題解決である。

ここでは，ギア機構と滑車機構のどちらがより選択されるのかという観点から，テストが開始されてからはじめに用いられた問題解決方略の分析を行う。問題解決方略の分類は，ギア機構補強箇所，及びギア機構動力伝達部で用いられている部品を用いて問題を解決しようとした際には，ギア機構方略とし，滑車機構補強箇所，及び滑車機構動力伝達部で用いられている部品を用いて問題を解決しようとした際には，滑車機構方略とした。なお，ギア機構箇所，滑車機構箇所の双方において用いられる部品は存在しない。方略選択の結果を表 1 に示す。

カイ二乗検定の結果，有意差が認められた ($\chi^2(2) = 9.23$, $p < .01$)。残差分析の結果，ギア条件において，ギア機構方略の利用者が多く，滑車機構方略の利用者が少ないということが示された ($p < .05$)。一方，滑車条件においては，滑車機構方略に偏るという傾向は認められなかった。

表 1 作成テストの方略選択
Table 1 Strategy selection in performance test.

	ギア機構	滑車機構
ギア条件	12	5
滑車条件	5	12
統制条件	4	13

表 2 作成テスト結果
Table 2 Rate of successful subjects.

	完成者	未完成者
ギア条件	10	7
滑車条件	10	7
統制条件	13	4

表 3 完成者の方略選択
Table 3 Strategy selection of successful subjects.

	ギア機構	滑車機構	双方使用
ギア条件	2	5	3
滑車条件	3	3	4
統制条件	0	4	9

[学習効果]

学習効果の検討として、作成テストの成績の比較、及び完成者の使用機構の分析を行う。課題の要件を満たした機構を完成できた被験者を完成者、要件を満たした機構を完成できなかった被験者を未完成者として分析を行った。結果を表 2 に示す。

カイ二乗検定の結果、有意差は認められず ($\chi^2(2) = 1.55, n.s.$)、作成テストの完成者数は、条件間に差がないことが確認された。

次に、作成テストの完成者の使用機構の分析を行う。使用機構の分析は、学習方略の分析と同様に、ギア機構方略、滑車機構方略の二つの観点から分析を行った。また、作成テストの終了時には、ギア機構、滑車機構のいずれかではなく、双方を組み合わせた機構を用いることができるために、その場合には、双方使用とした。結果を表 3 に示す。

分析の結果、明確な偏りは見られず、作成テストにおいても、認知負荷の操作と学習効果の関係は認められなかった。

5.5 実験結果のまとめ

実験結果をまとめると次のようになる。

学習フェーズの操作履歴の分析より、再生速度を調整した箇所において、動画の再生速度が加速されていた条件では、他の 2 条件に対し、有意に操作回数が増加することが確認された。一方、動画の再生速度が減速されていた条件では、統制条件に対する操作回数の減少は認められなかった。以上より、仮説 1 は部分的

に支持された。

学習フェーズの学習時間の分析から、認知負荷の操作にかかわらず学習時間は同程度であることが示され、仮説 2 は支持されなかった。

作成テストにおける、学習方略の分析から、ギア条件においては、ギア機構をより多く使用していることが確認されたが、滑車条件においては、そのような傾向は認められなかった。以上より、仮説 3 は部分的に支持された。

プレ・ポストテストの分析、作成テストにおける完成率、完成者の使用機構の分析から、学習効果に関して条件間に差は認められず、仮説 4 は支持されなかった。

6. 考 察

6.1 認知負荷が学習に及ぼす影響

まず、仮説 3, 4 についての考察を行う。作成テストの方略選択の分析から、ギア条件は、より多くギア機構を選択することが確認され、認知負荷が増加された箇所に対し、より積極的なかかわりをもつことが、方略選択に影響を及ぼす可能性が示唆された。また、滑車条件では、より多く滑車機構を選択するという傾向は認められなかったが、これは、そもそも統制条件においても多く滑車機構が用いられていたことより、一種の天井効果による傾向の消失であると考えられる。

Festinger は、認知要素間に不一致、不調和などが起こることを認知的不協和と呼び、この不協和が起きると、不協和を低減する行動が起きると指摘している [14]。本研究の作成テストにおける、認知負荷が増加された箇所の機構の使用が促進されるという現象は、より多く「コスト」をかけて作成した機構に対し、その機構を利用しないという不協和な状態を防ぐための行動と考えることができる。

一方、プレ・ポストテストの結果、作成テストの完成者、完成者の使用機構の分析結果から、認知負荷の増減が学習効果に及ぼす影響は認められなかった。

本研究では、見本となる動画を視聴し実際に作成を行うことにより学習を進めており、例をベースとした学習ということが出来る。例をベースとした学習の効果の検討を行っている代表的な研究としては、Worked-out example を用いた研究を挙げることができる。Worked-out example とは、(1) 解法のステップ、(2) 問題の公式、(3) 最終解法といった三つの内容をもった例 [15] であり、「熟達者が問題を解決してい

くモデル」[16]と定義される。

本研究で使用された動画は、「熟達者の作品作成プロセス」が記録された教材であった。これは、Worked-out example の「熟達者が問題を解決していくモデル」という特徴を有していると考えられる。Worked-out example を用いた学習は、特に初心者の学習に有効であるということが示されている [16], [17]。本研究で取り上げた、再生速度の調整による認知負荷の増減という観点だけでは、Worked-out example の効果を促進させることはできず、学習効果には影響がなかったと考えることができるだろう。

加えて、もう一点注意すべきは短い学習時間である。本研究では、一度しか作品の作成を行っておらず、認知負荷の操作の対象となった箇所の学習時間も、各箇所について、おおむね 4 分程度であった。より長時間の学習において、認知負荷の増減が学習効果に影響を及ぼすのかについては不明であり、今後の課題となる。

6.2 認知負荷が学習行動に及ぼす影響

ここでは、仮説 2 についての考察を行う。学習フェーズの操作履歴の分析から、再生速度を調整した箇所において、動画の再生速度が加速されていた条件では、他の 2 条件に対し、有意に操作回数が増加することが確認された。一方、動画の再生速度が減速されていた条件では、統制条件に対する操作回数の減少は認められなかった。また、学習時間の分析から、認知負荷の操作にかかわらず、学習時間は同程度であることが示された。

これまでの動画を用いたインタラクティブな学習環境における研究では、インタラクティブな学習行動により、学習時間が増加することが示されており [9], [10], [18]、加速箇所において、学習時間が増加することが予測された。また、実験の結果、減速箇所において通常の再生速度の条件と同程度の操作回数であった。この場合、再生速度の減速による視聴時間の増加から学習時間が増加されることが自然な予測である。にもかかわらず、再生速度の加減速、操作回数の増加によらず、学習時間は全条件同程度であったことが示され、仮説 2 は支持されなかったが、これは、注目すべき特徴である。

学習フェーズにおける作成方法は、大きく分けて次の 2 種類が存在する。

- (1) 動画を視聴して確認を行い、停止して作成
- (2) 動画の視聴を行いながら作成

学習フェーズの開始時に作成方法についての具体的な教示はなされなかったが、すべての被験者は、(1) の

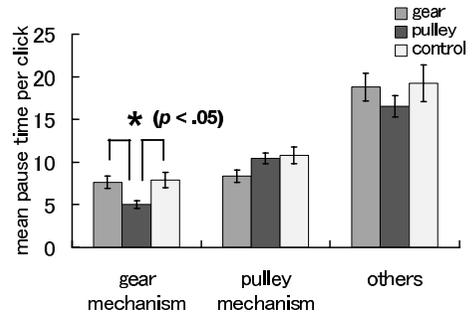


図 9 平均停止時間
Fig. 9 Mean pause time per click.

方法をとっていた。これより、学習時間は、動画を視聴している時間と停止させて作品を組み立てている時間の二つに分類することができる。そこで、学習時間と操作回数との関連という観点から、学習フェーズにおける、停止時間の分析を行った。停止時間は、操作履歴に基づき、一時停止と停止状態からの再開までの時間を積算することで算出された。再生速度が調整された箇所においては、条件間に一時停止（再生）の操作回数に差が見られたことから、1 停止当りの平均停止時間の分析を行った。結果を図 9 に示す。

1 要因の分散分析を行った結果、ギア機構箇所では有意差、滑車機構箇所では有意傾向が認められ、ギア機構・滑車機構以外の箇所においては、有意差は認められなかった（ギア機構箇所： $F(2, 48) = 4.70$, $p < .05$ ；滑車機構箇所： $F(2, 48) = 2.73$, $p < .10$ ；その他の箇所： $F(2, 48) = 0.70$, n.s.）。ギア機構箇所について、HSD 法を用いた多重比較を行った結果、ギア条件と滑車条件、滑車条件と統制条件の間に有意差が認められた（ $MS = 9.08$, 5%水準）。また、滑車機構箇所においては、滑車条件と統制条件の停止時間は同程度であるが、それに対し、ギア条件の停止時間が短いという傾向が見取れる。

これらの結果から、再生速度が調整されていた箇所において、加速されていた条件と統制条件の間では停止時間に差は見られないが、減速されていた条件については他の 2 条件と比較し、停止時間が短いという傾向が示された。また、再生速度の調整が行われていない箇所においては、条件間に停止時間の差は見られないことが示された。

以上をまとめると、加速箇所については、学習者は認知負荷が増加し、動画で示されている作成プロセスを追従することに困難さを感じていたために、多くの

停止、再開操作を行っていた。しかし、再生速度が加速されているために、視聴時間が短くなることから、統制条件に対する学習時間の増加が見られなかったと考えられる。

一方、減速箇所については、学習者は通常の再生速度と比較し認知負荷が減少し、より容易に作成プロセスの追従ができると感じていたために、停止状態から早く再開操作を行っていた。しかし、再生速度が減速されているために、視聴時間が長くなることから、統制条件に対する学習時間の増加は見られなかったと考えることができる。

以上のことから、学習者は、通常の再生速度時よりも認知負荷が増加した状況では頻繁に動画を一時停止し、認知負荷を調整していたのに対し、認知負荷が減少した状況では停止時間を短くすることにより、認知負荷の調整をしていた。以上は、自らが感じた認知負荷の増減という状況に応じて、「頻繁な一時停止」と「短時間での再生開始」という異なる方略を用いて認知負荷の調整を行っていたと解釈することができ、興味深い結果である。

マルチメディア学習環境における、認知負荷の効果の検討を行っている研究では、同一の学習コンテンツにおいても、学習者の熟達度により、受ける認知負荷が異なるということが指摘されている [19]。また、教材の作成を行う際に、すべての学習者にとって理想的な認知負荷の状態を想定することは非常に困難である。

インタラクティブ性をもたないシステムでは、教材開発者によって想定される認知負荷と、学習者が実際に受ける認知負荷との間のギャップが生じていても、認知負荷を調整する行動はとれない。しかし、インタラクティブ性をもつシステムでは、そのようなギャップが生じていても、学習者は状況に応じ、停止する回数を増やすことや、停止する時間を短くする等の行動をとりながら学習を進めることが可能となる。本研究の結果は、そのような状況において、学習者は多様な方略を用いて認知負荷の調整を行うための適応的行動をとることを示したものである。

しかし、これらの知見の一般への適用には、慎重な検討が必要となる。本研究の学習対象は組立てスキルであり、「動画を視聴し、実際に作成を行う」という特徴があった。このような特徴を有さない学習領域において、同様の効果が得られるのかの検討が今後の課題となる。

7. むすび

本研究では、動画を用いたインタラクティブな学習環境において、再生速度の変化により学習者が受ける認知負荷を操作し、認知負荷が学習効果、学習行動にどのような影響を及ぼすのかについての検討を行った。

実験的検討の結果、動画を用いたインタラクティブな学習環境における認知負荷の増減は、問題解決方略の選択に影響を及ぼすが、学習効果には影響を及ぼさないことが示された。また、学習者は、認知負荷の増減に応じて、適応的な行動に基づき認知負荷の調整を行うことが示され、認知負荷が学習行動に影響を及ぼす可能性が示唆された。

文 献

- [1] 埴岡靖司, 吉富友恭, 今井亜湖, “河川実験施設との連携による動画コンテンツを用いた理科教育の実践” 日本教育工学会論文誌, vol.28, no.3, pp.275–280, 2004.
- [2] 中村隆敏, 山口史倫, 吉永伸裕, “多視点動画と3画面マルチモニタによるろくろ技能習得支援システムの開発” 教育システム情報学会誌, vol.23, no.3, pp.125–134, 2006.
- [3] B. Tversky and J. Morrison, “Animation: Can it facilitate?,” *Int. J. Human-Computer Studies*, vol.57, pp.247–262, 2002.
- [4] R. Mayer, *Multimedia Learning*, Cambridge University Press, New York, 2001.
- [5] R. Mayer and R. Moreno, “Nine ways to reduce cognitive load in multimedia learning,” *Educational Psychologist*, vol.38, no.1, pp.43–52, 2003.
- [6] R. Mayer, *The Cambridge hand book of Multimedia Learning*, Cambridge University Press, New York, 2005.
- [7] M. Hegarty, S. Kriz, and C. Cate, “The roles of mental animations and external animations in understanding mechanical systems,” *Cognition and Instruction*, vol.4, pp.325–360, 2003.
- [8] R. Weiss, D. Knowlton, and G. Morrison, “Principles for using animation in computer-based instruction: Theoretical heuristics for effective design,” *Computers in Human Behavior*, vol.18, pp.465–477, 2002.
- [9] C. Evans and N. Gibbons, “The interactivity effect in multimedia learning,” *Computers & Education*, vol.49, no.4, pp.1147–1160, 2007.
- [10] S. Schwan and R. Riempp, “The cognitive benefits of interactive videos: Learning to tie nautical knots,” *Learning and Instruction*, vol.14, pp.293–305, 2004.
- [11] D. Zhang, L. Zhou, R. Briggs, and J.F. Nunamaker, Jr, “Instructional video in e-learning: Assessing the impact of interactive video on learning effectiveness,” *Information & Management*, vol.43, no.1, pp.15–27, 2006.
- [12] <http://www.mdstorm.com/robolab/>

- n-edu-case-list.htm
- [13] J. Nagata, Joe Nagata の MindStorms スパークリーチャー, オーム社, 1999.
- [14] L. Festinger, A. Theory of Cognitive Dissonance, Stanford University Press, 1957. 訳書: 末永俊郎 (監訳) 認知的不協和の理論, 誠信書房, 東京, 1965.
- [15] A. Renkl, R. Atkinson, U. Maier, and R. Staley, "From example study to problem solving: Smooth transitions help learning," J. Experimental Education, vol.70, no.4, pp.293-315, 2002.
- [16] R. Atkinson, J. Sharon, A. Renkl, and W. Donald, "Learning from examples: Instructional principles from the worked examples research," Review of Educational Research, vol.70, no.2, pp.181-214, 2000.
- [17] K. VanLehn, "Cognitive skill acquisition," Annual Review of Psychology, vol.47, pp.513-539, 1996.
- [18] J. Boucheix, "What animated illustrations conditions can improve technical document comprehension in young students? format, signaling and control of the presentation," European J. Psychology of Education, vol.20, no.4, pp.369-388, 2005.
- [19] S. Kalyuga, P. Ayres, P. Chandler, and J. Sweller, "The expertise reversal effect," Educational Psychologist, vol.38, no.1, pp.23-31, 2003.

(平成 19 年 3 月 30 日受付, 8 月 10 日再受付)



浦尾 彰 (学生員)

2001 鈴鹿高専・電子情報卒 . 2003 名大・情報文化・自然情報卒 . 2005 同大大学院情報科学研究科メディア科学専攻博士前期課程了 . 同年同大学院情報科学研究科メディア科学専攻博士後期課程入学, 現在に至る . 認知科学, 教育工学の研究に取り組む . 発見や創造の領域における, 学習支援や発想支援のための計算機システム, 授業プログラムの開発に興味をもっている . 日本認知科学会, 日本教育工学会各会員 .



三輪 和久 (正員)

1984 名大・工卒 . 1989 同大大学院工学研究科博士課程了 (情報工学専攻) . 工博 . 1989 同大学情報処理センター助手, 1993 同大大学院人間情報学研究科助教授を経て, 2004 より名古屋大学大学院情報科学研究科メディア科学専攻教授 . 1991-1992 米国 Carnegie Mellon University, Dept. of Psychology, visiting assistant professor . 認知科学, 人工知能, 教育工学の研究に従事 . とりわけ, 発見, 創造, 洞察, 協同など, 人間の hochisokou 過程に興味がある .