

作成プロセスの追従による組立てスキルの学習支援

浦尾 彰^{†a)} 三輪 和久[†]

Supporting Acquisition of Assembly Skills by Following a Creation Process

Akira URAO^{†a)} and Kazuhisa MIWA[†]

あらまし 例による学習は、領域や熟達性のいかに問わず広く親しまれている学習方法であり、特に初心者の学習に有効であるとされる。本研究では、これまでの例による学習の研究では扱われてこなかった(1)物理的に実現されたプロダクトが存在し、(2)多数の問題解決ステップをもつという二つの特徴をもつ領域における、例による学習の検討を行った。領域の特徴から、例のステップを正確に追いつながら学習を進めることは困難なことから、支援システムの作成を行うことにより、作成プロセスを忠実に追従する学習環境の構築を行った。実験的検討の結果、本研究の対象とした領域における例による学習の有効性、支援システムの有効性が示唆された。

キーワード 例による学習、スキル学習、学習支援システム、マルチメディア学習

1. ま え が き

例による学習は、広く親しまれている学習方法である。我々は幼少のころより、両親や家族の示すお手本から言語や社会について学び、学校生活においても教師が示す典型例からの学習がなされることなどからも、例による学習というのは一般的な学習の形態であるといえる。

例による学習の効果について検討された一連の研究として、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 [1] であり、身近な例としては、数学の参考書等に掲載している例題とその解き方を挙げることができる。

このように、解法のステップに添って順序よく学習を進めるといふ特徴をもつ、Worked-out example を用いた研究は、主として数学 [2], [3]、物理 [4]、確率 [1], [5] といった領域を中心として、その効果の検討がなされてきた。具体的には、一般的な学習方法である問題解決による学習と、Worked-out example を用いた学習との比較から、例による学習の有効性が報告

されており [6]、特に初心者の初期的な認知スキル獲得において効果があるとされる [7]。

本研究では、工作や組立てなどの学習領域を対象として、例による学習の効果の検討を行う。これらの領域における例による学習の効果の検討は、これまでほとんどなされてこなかった。

本研究では、本学習領域における“例”を、Worked-out example の定義 [6] に基づき、「熟達者が問題を解決していくモデル」、より具体的には「熟達者の作品作成プロセス」と定義する。本学習領域における例の特徴として、次のような 2 点を挙げることができる。

(1) 物理的に実現されたプロダクトの存在

(2) 多数の問題解決ステップの存在

(1) は、学習の際に、頭の中で考えるということに加え、具体的なプロダクトを完成させることが必要であり、その過程において作成のための行為を伴うという特徴である。つまり、頭の中の理解を形に具体化する必要がある領域である。

(2) は、学習の対象となる例が、これまでの研究で用いられてきた、数ステップ~10 数ステップから構成される例と異なり、おおむね百以上の多段階のステップをもつという特徴である。

これらは、これまで検討が行われてきた学習領域(例: 数学、物理、確率)のもつ特徴とは大きく異なったものであり、そこに、この領域での例による学習を検討する重要な動機が生じている。

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

本研究の対象とする学習領域において例による学習を行うには、「作成プロセスを正確に追従する」ことが重要であると考えられる。しかし、先に挙げた特徴から、本学習領域において「プロセスを正確に追従することによる学習」を行うのは困難である。

ここで、本学習領域において、プロセスを追従させる方法として、「模倣による学習」や「手取り足取り教えられることによる学習」を挙げることができる。しかし、これらの学習方法には解決すべき課題がある。

例えば、模倣による学習では、模倣の対象と、模倣の程度により、様々な学習方法が存在する。本研究の対象とする「プロセスを正確に追従することによる学習」は、模倣による学習における一つの学習方法であり、熟達者が作成した作品を作成プロセスまで含めて忠実に模倣する学習であると定義され、模倣の程度が最も高い学習方法であるということが出来る。

模倣による学習の代表的な学習方法として、熟達者の作品を模倣することによる学習を挙げることができる。熟達者の作品の模倣を行う場合、作成プロセスの追従は学習者にゆだねられることから、熟達者とは異なる作成プロセスとなることが予想される。これより、熟達者の作品を模倣することによる学習には、作成プロセス追従の正確さという点に課題がある。また、熟達者の作成プロセスの模倣を行う場合、学習者は、「できると思って真似してみたができない」といったように、プロセスの追従に困難を感じる事が少なくない。また、手取り足取り教えられることにより学習を行う場合、プロセスの追従に成功するにしても、大きな教育コストがかかるということがある。以上の背景に基づき、本研究では、「作成プロセスを忠実に追従することによる学習」を支援する学習環境の構築を行った。

本研究では使用する材料として、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。この理由は、マインドストームは、アイデアの生成・修正を容易に繰り返すことができるという特徴を有し、作品の作成プロセスは、上記の二つの特徴を満たしているためである。また、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ことも重要な要因である [8]。

マインドストームを用いた多くの研究においては、本材料を、ある課題に対しその課題の要件を満たすアイデアを作成し、それを機械的に実現するという、創造的課題として使用している [9], [10]。しかし、本研究ではマインドストームをそのような課題として扱うのではなく、「複雑な機構の組立てスキル」を学習させる教材として使用する。したがって、アイデアを生成したり、機構を独自に考案したりする段階は、本研究の扱う対象外である。

2. 支援システム概要

本章では、本研究で作成した支援システムの概要について述べる。本研究では材料としてマインドストームを用いることから、「例」としてマインドストームの作成プロセスを取り上げる。これより、マインドストームの作成プロセスを複数の視点から撮影した動画を、インタラクティブに再生をしながら、作成プロセスの追従を行えるシステムの作成を行った。

支援システムの概観を図1に示す。システム使用者は、再生画面を目前に置き、マウス、フットコントローラにより動画の操作を行いながら、作成プロセスの追従を行うこととなる。

2.1 コンテンツの作成

本システムで使用する学習コンテンツとしての動画は、マインドストームの作成に熟達した作成者の作成

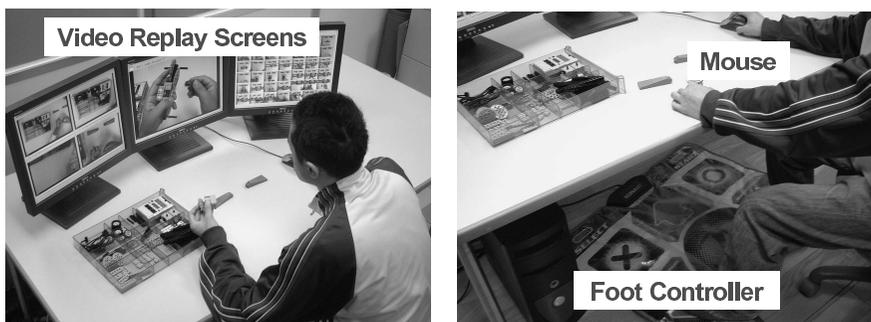


図1 支援システム概観

Fig. 1 Overview of a learning support system.

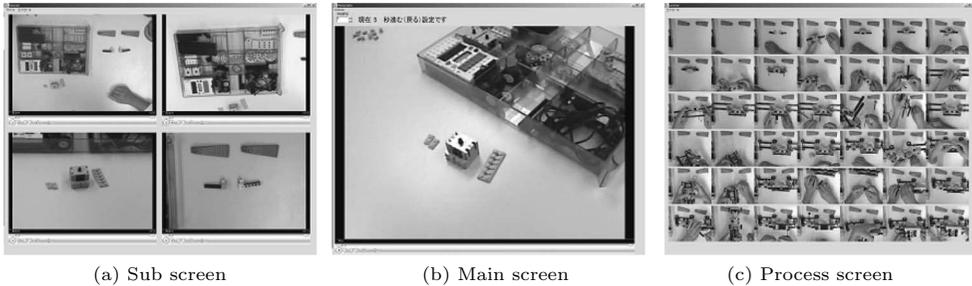


図 2 再生画面概観
Fig.2 Overview of video replay screens.

プロセスを、1 台の小型カメラ、及び 4 台のデジタルビデオカメラを使用することによって撮影された。これは、マインドストームで使用されるパーツは非常に小さく^(注1)、より正確な追従を支援するためには、複数の観察視点が必要になると考えたためである。

図 2 に再生画面の概要を示す。小型カメラで撮影が行われた動画が主再生画面（図 2 (b)）において使用され、デジタルビデオカメラで撮影が行われた動画が副再生画面（図 2 (a)）において使用される。

小型カメラは、作成者の視野をとらえることにより、追従の中心となる映像を撮影する目的で使用された。具体的には、KEYENCE 社の小型カメラ（CK-300）を、作成者の頭部に固定し撮影を行った。図 2 (b) 画面内に示される画像が具体的な映像例である。

4 台のデジタルビデオカメラは、小型カメラでは撮影されない場所や、全体像の把握、詳細部をとらえる目的で使用された。四つのカメラは、三脚で固定されており、一定の角度で撮影を行った。具体的には、作成中のテーブルの全体風景（図 2 (a) 左上）、作品に必要なすべてのパーツが収められているパーツボックス（図 2 (a) 右上）、作成の各時点において使用するパーツ（図 2 (a) 左下）、パーツが組み立てられている状況（図 2 (a) 右下）が撮影された。

2.2 再生画面

再生画面は、(1) 主再生画面、(2) 副再生画面、(3) プロセス概略画面の 3 画面から構成される。

主再生画面（図 2 (b)）は、再生画面の中心部である。システム使用者は、主に本画面に示される作成プロセスの映像を見ながら作成プロセスの追従を行う。

副再生画面（図 2 (a)）は、主再生画面の補佐的役割を担っており、主再生画面において再生されている動画においてはとらえられていない領域をカバーするように構成されている。システム使用者は、主再生画面

において不明りょうである部分や、映っていない部分を本画面によって補完することとなる。

プロセス概略画面（図 2 (c)）は、全体の流れの把握、及び再生のキューとなる画面である。全体の流れに関しては、作成プロセスの始めから終わりまでを等時間間隔の画像で提示することによって、作品作成プロセスの全体の流れの把握を行えるよう構成した。また、プロセス概略画面における各画像をマウスによりクリックすることにより、主再生画面、副再生画面の動画がそれに同期してその位置にジャンプするように構成されており、再生のキューとしての役割を担っている。

2.3 コントローラ

マインドストームの作品作成においては、両手は組立て作業によってふさがっている。そこで、操作性の観点から、支援システムのコントローラとして、主再生画面、副再生画面の、「一時停止」、「再生」、「少し進む」、「少し戻る」はフットコントローラによって操作できるようにした。また、「早送り」、「巻き戻し」についてはマウスにより操作できるようにした。

3. 実 験

本研究で作成した支援システムを使用し、プロセスを忠実に追従することによる学習の効果と、支援システムの効果を実験的に検討する。

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、大学院生 30 名が個別に実験に参加した。各 10 名が、以下の 3 条件に無作為に割り当てられた。

- (1) 統制条件：追従による学習を行わない
- (2) マニュアル条件：マニュアルを使用することによ

(注1)：最小のパーツは約 2 mm 角である。

り学習を行う

(3) 支援条件：支援システムを使用し追従による学習を行う

マニュアル条件を設けた理由は、マニュアルによる学習は、より一般的な学習方法であると考えたためである。

3.2 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 (20 分)
- (2) 学習フェーズ (最大 70 分)
- (3) 作成テスト (10 分)
- (4) ポストテスト (20 分)

支援条件、マニュアル条件においては、本手続きのすべてを行い、統制条件においては、プレテスト、作成テストのみを行った。次に各手続きについて述べる。

3.2.1 プレ・ポストテスト

プレ・ポストテストは、学習フェーズ、作成テストの活動を通じ、最も基礎となる、パーツ、及びパーツの組合せの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品（複数個のパーツが接続されたもの）の写真が提示され、別紙のパーツリストからどのパーツがどれだけ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 16 問の問題が用意された。1 種類は、学習フェーズにおいて作成を行う作品に含まれるパーツの組合せに関する問題（以降、「関連あり」と呼ぶ）であり、もう一つの種類は、作成を行う作品の中では登場しないパーツの組合せに関する問題（以降、「関連なし」と呼ぶ）である。2 種類の問題群を用意したのは、作成を通じて獲得されるのは、学習フェーズで実際に作成を行う作品に関連するパーツの組合せの知識に限定されるのか、それとも、作成する作品に関する知識だけではなく、より一般的なパーツの組合せの知識が獲得されるのかという観点を確認するためである。

3.2.2 学習フェーズ

学習フェーズにおいては、図 3 に示される作品の作成を行った [11]。本フェーズでは、支援条件は、本研究で作成した支援システムを使用することにより作品の作成を行い、マニュアル条件は、市販の本のマニュアルを参照しながら作成を行う。

マニュアルは、全 28 工程から構成され、全工程に写真とテキストが用意されている。写真は各時点で作成を行う部品、テキストはパーツの組合せ方に関する

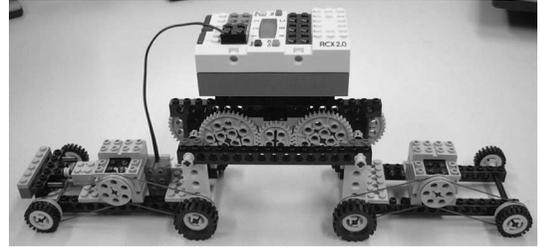


図 3 作成作品

Fig. 3 A creature produced in learning phase.

説明のみ^(注2)が示されており（例えば、「モータの軸に 24 枚歯ギアを取り付けます」など）、作成者はこれらの情報をもとに工程を追いながら作成を進める形となる。また、支援条件における動画は、本マニュアルの作成工程を基準として作成されており、映像のみを使用している。つまり、テキストによる説明、及び音声情報は含まれていない。この理由は、条件間による情報量の差をできる限りなくすためである。また、使用した動画の長さはおおむね 15 分である。

3.2.3 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 個と障害物付きの棒 2 本が用意され、棒 2 本をモータに固定し、障害物を回避しながら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 4 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、ギアと滑車の組合せ等により障害物を回避しながら、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 3 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、または、図 3 の左右に示されるタイヤを駆動する機構を応用することにより、障害物を回避し、動力を伝えるという本課題の要件が解決される。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。

なお、統制条件においては、先の学習フェーズにおいて作品の作成を行っていない。ただし、作品の完成物（図 3）を目前に置き、実際に手に取り参照しながら

(注2)：機構に関する説明は含まれていない。

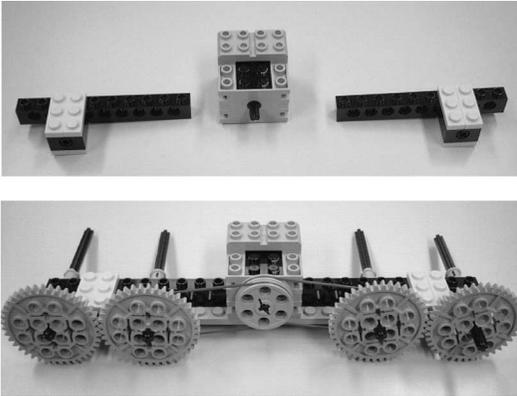


図 4 モータ、障害物付き棒、及び作成テスト作品例
Fig. 4 A motor and two beams on which obstruction parts are connected and an example product in performance test.

課題を遂行することが許可されている。一方、マニュアル条件、及び支援条件においては、作成テスト遂行中に、学習フェーズで作成した作品の完成物、マニュアル、支援システムは参照できない状況になっていた。

4. 実験結果

支援システムを用いた作成プロセスを追従することによる学習の効果と、マニュアルを用いた学習との効果の差について、実験的に検討する。前者に関しては、統制条件と支援条件の比較、後者に関しては、支援条件とマニュアル条件の比較を行う。

4.1 被験者の等質性

プレテストでは、被験者のパーツ、及びパーツの組合せに関する先行知識が測定された。なお、シャフトについては一単位の長さまでの間違いを認める形で採点を行った。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5に示す。図5の横軸は、テストの種類を示し、縦軸は正解数を示す。なお、満点は16点である。関連あり、関連なし双方の問題において、3条件間に成績の差は認められなかった（関連あり： $F(2, 29) = 3.35$, n.s.; 関連なし： $F(2, 29) = 3.35$, n.s.）。これより、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。

4.2 実験結果1：統制条件と支援条件の比較

本学習システムを用いて、作成プロセスを追従することによる学習の効果の検討として、統制条件と支援条件の間での作成テストの成績の比較を行う。課題の

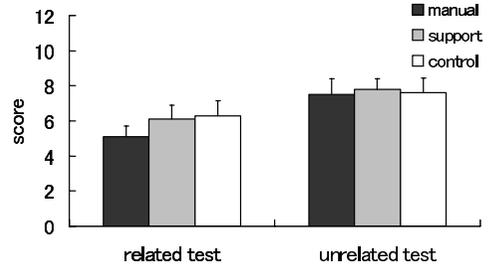


図 5 プレテスト結果
Fig. 5 Pretest results.

表 1 実験結果 1

Table 1 Performance test results.

条件	完成者数	未完成者数
支援条件	8	2
統制条件	3	7

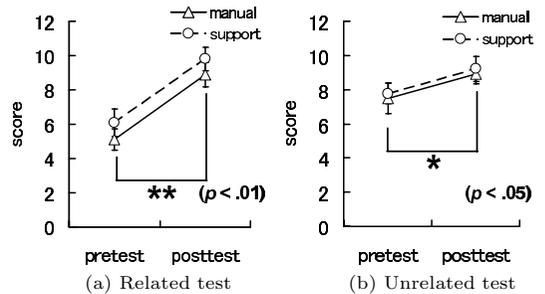


図 6 プレ・ポストテスト結果

Fig. 6 Comparisons of pre/post tests.

要件を満たした作品を完成できた被験者を完成者として分析を行った。結果を表1に示す。

直接確率検定を行った結果、条件間に有意差が認められた ($p < .05$)。これより、支援条件は統制条件に対して、有意に作成テストの完成率が高いことが確認された。

4.3 実験結果2：マニュアル条件と支援条件の比較

支援システムの効果の検討として、マニュアル条件と支援条件の間における、プレ・ポストテスト、作成テストの成績の比較を行う。

4.3.1 プレ・ポストテスト

ポストテストの結果の分析は、プレテストと同様に、シャフトについては一単位の長さまでの間違いを認める形で採点を行った。結果を図6に示す。

2(条件:支援/マニュアル)×2(プレテスト/ポストテスト)の分散分析を行った結果、関連あり(図6(a)), 関連なし(図6(b))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

表 2 実験結果 2
Table 2 Performance test results.

条件	完成者数	未完成者数
マニュアル条件	5	5
支援条件	8	2

果, 及び交互作用は認められなかった(関連あり 条件: $F(1, 18) = 1.86$, n.s.; プレ・ポストテスト: $F(1, 18) = 20.69$, $p < .01$; 交互作用: $F(1, 18) = 0.00$, n.s.; 関連なし 条件: $F(1, 18) = 0.12$, n.s.; プレ・ポストテスト: $F(1, 18) = 6.61$, $p < .05$; 交互作用: $F(1, 18) = 0.00$, n.s.). これより, 両条件ともにパーツ, 及びパーツの組合せの知識について, 作成を行った作品に関連する, しないにかかわらず学習効果が生じていたが, その効果は条件間に差がないことが確認された.

4.3.2 作成テスト

作成テストの結果を表 2 に示す. なお, マニュアル条件で学習フェーズの作品を完成することができなかった被験者も, 作成テストで作成することが求められる機構部分までは完成できていた. これより, 全被験者を分析の対象とした.

直接確率検定を行った結果, 条件間に有意差は認められなかった ($p > .10$). これより, 作成テストの成績についても条件間に差は認められなかった.

4.4 実験結果 3: 学習プロセス

プレ・ポストテスト, 作成テストの結果から, 支援条件, マニュアル条件の間で, 学習効果について差は認められなかった. 一方, 学習過程に差はあるのかという観点から, 学習フェーズにおける作品の完成率, 学習時間, エラーについての分析を行う.

[作品の完成率]

作品の完成率として, 学習フェーズの時間内に作品を完成することができた被験者を完成者として分析を行う. 本フェーズの最大時間は 70 分であり, 前述されたマニュアルに基づき, 次の基準が満たされていることを実験者が確認した時点で完成とみなし終了とした.

- 作成作品の動力機構 (図 3 中央部ギア機構, 及び図 3 左右部プリー機構) について, 例と同一の機構を再現できている

- 作品を完成形 (図 3) まで作り上げる

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

表 3 作品の完成率
Table 3 Rate of successful subjects.

条件	完成者数	未完成者数
マニュアル条件	5	5
支援条件	10	0

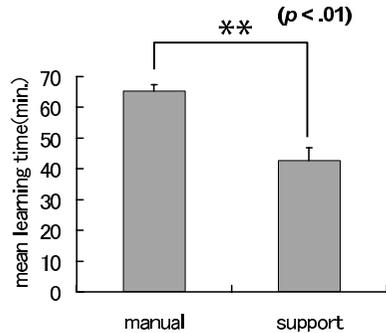


図 7 平均学習時間

Fig. 7 Mean learning time.

した. また, 完成に至らなかった場合は, 作成開始後 70 分の時点で作成を打ち切る形とした. 結果を表 3 に示す.

直接確率検定を行った結果, 条件間に有意差が認められた ($p < .05$). これより, 支援条件は, マニュアル条件に対し有意に完成率が高いことが確認された.

[学習時間]

“速さ”という観点から, 学習フェーズにおいて, 作品の完成までにかかった時間を学習時間とし, 分析を行う. なお, 完成できなかった被験者に関しては, 学習フェーズの制限時間である 70 分を作成時間として分析を行った. 結果を図 7 に示す.

t 検定の結果, 条件間に差が認められ ($t(18) = 5.06$, $p < .01$), 支援条件はマニュアル条件に対して有意に学習時間が短かったことが確認された.

[エラー]

次に, “正確さ”という観点から, 学習フェーズの作成プロセスにおけるパーツの接続間違いに関するエラー数, エラーの修正率の分析を行った. 基準として, パーツを誤った位置に接続した場合, 必要なパーツを接続しなかった場合にエラーとした. 後者に関しては, パーツ一つの不足に対し, エラー数 1 としてカウントをした. エラーの修正率の分析は, 全体のエラー数に対する, 正確に修正されたエラー数の割合を求めることにより行った. 平均エラー数の結果を図 8 に, 平均エラー修正率の結果を図 9 に示す.

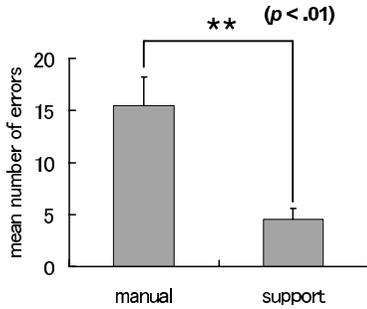


図 8 平均エラー数

Fig. 8 Mean number of errors.

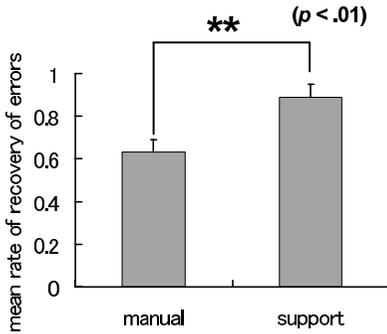


図 9 平均エラー修正率

Fig. 9 Mean rate of recovery of errors.

t 検定の結果、平均エラー数、平均エラー修正率ともに、条件間に有意差が認められ（平均エラー数： $t(18) = 3.78, p < .01$ ；平均エラー修正率： $t(18) = 2.95, p < .01$ ）、支援条件はマニュアル条件と比較し、有意にエラー数が少なく、エラーの修正率が高いということが確認された。

4.5 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。

実験結果 1 より、支援システムを使用し作成プロセスの追従を行うことにより、組立てに関するスキル獲得の学習効果が得られることが確認された。

実験結果 2 より、本システムの支援によるスキル学習の効果は、一般的な学習方法であると考えられる通常のマニュアルによる学習と大きな差はないということが確認された。ただし、実験結果 3 より、このようなスキル学習を、本システムの支援により、マニュアルによる学習よりも、“速く”“正確”に遂行することが可能になることが確認された。

5. 考 察

5.1 プロセスを追従することによる学習の効果

統制条件と支援条件における作成テストの結果から、統制条件に対し、追従による学習を行った支援条件の方が有意に完成率が高く、行為を忠実に追従することによる組立てスキル獲得に関して一定の学習効果が存在することが確認された。

波多野らは、熟達者のクラスを、知識・技能の柔軟性・適応性のレベルにより 2 段階に分類した [12]。一方は、手際の良い熟達者と呼ばれるクラスである。これらの熟達者は、同じ手続きを何百回、何千回と繰り返すことによって習熟し、その技能の遂行の速さと正確さが際立っているとされる。もう一方のクラスは、適応的熟達者であり、これらの熟達者は、手続きの遂行を通して概念的知識を構成してきたため、課題状況の変化に対応して適切な解を導くことができるとされる。

本研究で行った組立てスキルは、手際の良い熟達者の特徴とされる、より定型的な知識・技能であった。実験結果より、本研究において支援を行った学習方法である「作成プロセスを忠実に追従することによる学習」は、より定型的な知識・技能の獲得において有効であるということが示唆された。

しかし、近年の認知科学、学習科学の領域では、このような定型的な知識・技能の獲得だけではなく、もう一方の適応的な知識・技能の獲得することも大きな目標となっている [13]。それらの知識・技能の獲得において、本学習方法が有効であるのかについては更なる検討が必要であり、今後の課題である。

5.2 支援システムの効果

支援条件とマニュアル条件における実験結果の比較より、学習効果（プレ・ポストテスト、作成テスト）という観点からは、マニュアル条件と支援条件の間に統計的な差は認められなかった。一方、学習過程を見ても、支援条件は、より速く、正確に作成を行うことができるということが確認された。これより、本研究において作成を行った支援システムを使用することにより、より短い学習時間で、より一般的な学習法と仮定されるマニュアルと同程度の学習効果が期待できるということが確認された。

これは、数学や物理の領域において、Worked-out example の使用によって、短時間で学習が期待できるという結果と一致している [3], [4]。Renkl らは、

Sweller らの Cognitive Load Theory [14], [15] に基づいて、学習時における認知負荷という観点から Worked-out example の効果の検討を行っている。Renkl によると、Worked-out example による学習は、学習に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ために有効であると指摘している [16], [17]。

具体的には、一般的な問題解決による学習において、学習者は通常手段-目的分析を用いる。手段-目的分析は問題解決において有効な方略であるが、この方略は、頭の中に現在の問題状態や、目標状態などを保持することが必要である。そのことが認知負荷を増大させてしまい、十分な理解の促進につながらないことがあるということを示している。これに対して Worked-out example を使用した学習では、そのような認知資源の割当は不必要であり、学習のために必要な、十分な認知容量が利用可能であるために、学習が促進されるとされている。

認知負荷という観点から、本システムの効果の検討を行うと、速く、正確に追従し、学習することができた支援条件は、マニュアル条件に対し、学習に関連しない認知負荷を小さく抑えて学習を行えたということができる。

具体的には、次のような負荷を挙げることができる。

- (1) 定型的な組立て方の手続き的知識の獲得に関する認知負荷
- (2) 組立て方に対する試行錯誤から生じる認知負荷

これらは、双方ともに、組立てスキルの獲得に関連する負荷として、学習効果を期待できるものであると考えられる。初心者学習という観点から、これらの負荷について検討を行うと、(1) は「どのように組み立てるのか」という型の学習に関係するものであり、初心者の組み立てスキルの獲得において、学習効果が期待される負荷である。一方、(2) は、自分自身で「どのように組み立てるのか」を考える事から生じる負荷であり、こちらも、組立てスキルの獲得における、重要な負荷の一つであると考えられる。しかし、「どのように組み立てるのか」という知識が乏しいと考えられる初心者が、自分で問題解決方法を模索する(2)のような状況では、「ただ分からない」という状況が多く生じてしまい、有効な学習にはつながらない負荷となってしまうと考えられる。

これらの点を、学習フェーズにおいて検討を行うと、支援条件は、「どのように組み立てるのか」という点

が動画中に明示されているために、上記(1)に集中して認知資源を割り当てて学習を行うことができたと考えられる。一方、マニュアル条件においては、ある工程と次の工程の図から「どのように組み立てるのか」ということを考えながら作成を行わなければならない。実験結果のエラー数の多さが示すように、その過程においては、(2)の試行錯誤の状況に陥り、「どのように組み立てていいのかわからない」という状況が多く生じていたということができる。これより、マニュアル条件においては、どのように組み立てていいのかわからないという点と、エラーを修正するという点に多く認知資源が割り当てられてしまっていたと考えられ、支援条件に対し長時間の学習時間であったにもかかわらず、学習効果には差がなかったと考えられることができる。

5.3 動画による学習

本研究における学習方法、及び支援システムの特徴として、動画を使用した学習という点を挙げる事ができる。一般には、動画やアニメーションを使用することにより、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、動画やアニメーションを使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 [18]。その原因として、Tversky らは、動画、アニメーションを使用した場合、その対象の動きの速さや複雑性から、知覚や理解が困難となることがあるためと指摘している。

これに対し、Tversky らは、このような欠点を克服するべきとなる要素として、動画、アニメーションの速度の調整、停止、再生、見直し等のインタラクティブ性を挙げており、Weiss らも、動画、アニメーション利用における有効なデザインの一つとして、インタラクティブ性の重要性を指摘している [19]。

本研究で使用した動画は、複数の視点を使用することによって、死角を相互に補完する形になっている。また、支援システムの操作においては、インタラクティブ性を重視した設計が行われている。これより、例えば、支援条件における作品作成過程においては、動画を一時停止し、自分が作成を行っている作品と動画中の作品を見比べ確認しながら作成を行うことが多く確認された。また、支援条件の大きな特徴として、ほとんどエラーを起こすことなく作品の作成を行えることが確認された。これより、知覚・理解の困難さを緩和しながら学習を行うことができ、教育メディアとして

の動画の有効性が引き出されたものと考えられ、一般的な学習方法と仮定されるマニュアルに対し、より短時間の学習を支援できたと考えることができる。しかし、このようなインタラクティブ性が、どのようにスキル獲得に結び付いているのかについては不明な点が多く、詳細な検討は今後の課題である。

また、本システムは実用性の面からも重要である。マニュアルによる学習は、一般的な学習方法であるが、通常、その作成には、多大な時間と専門的知識が必要であり、大きなコストが必要とされる。これに対し、本システムは、通常の作成プロセスを記録することにより教材を作成することができ、学習コンテンツ作成時のコストを低減することが可能である。

6. む す び

本研究では、これまで扱われてこなかった、(1) 物理的に実現されたプロダクトが存在し、(2) 多数の問題解決ステップをもつという二つの特徴をもつ学習領域を対象として例による学習を検討した。領域の特徴から、例のステップを正確に追いつながら学習を進めることは困難なことから、支援システムの作成を行うことにより、作成プロセスを忠実に追従する学習環境の構築を行った。

実験的検討により、これらの領域による例による学習の有効性が確認され、支援システムの有効性が示唆された。しかし、本研究の結果の一般化には、更なる検討が必要である。特に、本研究で対象となったのは、より手続き的な知識・技能の獲得であり、今後は、より柔軟的・適応的知識・技能の獲得を目指し、新たな学習方法の検討、システムの改善を行う予定である。

文 献

- [1] A. Renkl, R.K. Atkinson, U.H. 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.
- [2] J. Sweller and G.A. Cooper, "The use of worked examples as a substitute for problem solving in learning algebra," *Cognition and Instruction*, vol.2, no.1, pp.59-89, 1985.
- [3] X. Zhu and H.A. Simon, "Learning mathematics from examples and by doing," *Cognition and Instruction*, vol.4, no.3, pp.137-166, 1987.
- [4] M.T.H. Chi, M.W. Lewis, P. Reimann, and R. Glaser, "Self-explanations: How students study and use examples in learning to solve problems," *Cognitive Science*, vol.13, pp.145-182, 1989.
- [5] A. Renkl, "Learning from worked-out examples: A study on individual differences," *Cognitive Science*, vol.21, no.1, pp.1-29, 1997.
- [6] R.K. Atkinson, J.D. 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.
- [7] K. VanLehn, "Cognitive skill acquisition," *Annual Review of Psychology*, vol.47, pp.513-539, 1996.
- [8] <http://www.mdstorm.com/robofab/n-edu-case-list.htm>
- [9] 日野順市, 高木 均, "中学生を対象とした創造教育の取り組み," *工学教育*, vol.51, no.5, pp.37-41, 2003.
- [10] C. Pike, "Exploring the conceptual space of LEGO: Teaching and learning the psychology of creativity," *Psychology Learning and Teaching*, vol.2, no.2, pp.87-94, 2002.
- [11] J. Nagata, Joe Nagata の MindStorms スパークリーダー, オーム社, 1999.
- [12] 波多野諄余夫, 稲垣佳世子, "文化と認知 : 現代基礎心理学 第7巻 思考・知能・言語, 坂元 昂 (編), 東京大学出版会, 1983.
- [13] J.D. Bransford, A.L. Brown, and R.R. Cocking, *How people learn: Brain, mind, experience, and school*, National Academy Press, Washington, D.C., 2000.
- [14] J. Sweller, "Cognitive load during problem solving: Effects on learning," *Cognitive Science*, vol.12, pp.257-285, 1988.
- [15] J. Sweller and P. Chandler, "Evidence for cognitive load theory," *Cognition and Instruction*, vol.8, no.4, pp.351-362, 1991.
- [16] A. Renkl and R.K. Atkinson, "Structuring the transition from examples study to problem solving in cognitive skill acquisition: A cognitive load perspective," *Educational Psychologist*, vol.38, no.1, pp.15-22, 2003.
- [17] A. Renkl, R.K. Atkinson, and C.S. Grobe, "How fading worked solution steps works - A cognitive load perspective," *Instructional Science*, vol.32, pp.59-82, 2004.
- [18] B. Tversky and J.B. Morrison, "Animation: Can it facilitate?" *Int. J. Human-Computer Studies*, vol.57, pp.247-262, 2002.
- [19] R.E. Weiss, D.S. Knowlton, and G.R. Morrison, "Principles for using animation in computer-based instruction: Theoretical heuristics for effective design," *Computers in Human Behavior*, vol.18, pp.465-477, 2002.

(平成 17 年 10 月 6 日受付, 18 年 1 月 6 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 同大学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，人間の高次思考過程に興味がある．