

モノの仕組みの理解における作図活動の有効性の検討

沖田 栄里¹, 大島純², 大島律子²

¹静岡大学大学院情報学研究科, ²静岡大学情報学部

本研究では、モノの仕組みを理解する際に自発性を保証し、作図内容に自由度を持たせた作図活動を付加することで、①適切な図を与えられた場合よりも、自ら作図しながら学習するよう教授された場合に理解が向上するか、②自発的作図活動に対する支援に効果があるか、の2点について検討した。完成図提示条件、未完成図提示条件、単純作図条件の3条件（各8名）で実験を行ったところ、事後テストの内容理解の測定では条件間において差がみられず、転移課題においてのみ未完成図提示条件の得点が他の2条件に対して有意に高いことがわかった。これより、作図活動が物事を理解する際に有効な学習方略であることが示されたが、同時に、作図に対する被験者の自発性を保証したり、作図に自由度を持たせたりするだけでは必ずしも理解向上には結びつかないことが明らかになった。理解向上のためには学習時にある程度正確な図を描くことと、それを実現するための支援が必要であると考えられる。

キーワード：作図活動、モノの仕組み、理解、支援

1. 研究の背景と目的

1.1. 先行研究

図は適切に使えば問題解決の有効な手段になり得るということは、Larkin & Simon (1987)をはじめとする多くの先行研究で明らかにされている。図を用いた学習効果を検討した最近の研究 (Ainsworth et al., 2003) では、人間の心臓の仕組みについて文章だけで学習させた群と、短い説明文を付加した心臓の図で学習させた群の学習効果を比較し、図を使って学習した群の成績がよく、図は学習者の認知的負担を減らし、meaning-makingな活動を促進するという結論を導き出している。これは、説明文を付加した図が、文章のみよりも多くの詳細な情報を学習者に与えるだけでなく、図表を与えられた学習者に、複数の情報を統合する心的モデルを作らせるためであると考えられている。

しかし実際の学習場面では、必ずしも全ての学習者が図を有効に利用できているわけではない。このような問題に対して市川 (1993) は、学習者が自発的に図を利用するには、図の有効性を実感することが重要だとしている。例えば植阪 (2003) は、中学生に数学の文章題を解かせる際に、①ワークシートで作図を促す、

②解答に至らなかった者に対して、その失敗の原因を、図を利用していないことに帰属し、図の利用を口頭で促す、という介入を行った。これより、「ポストテストで作図を促した場合に問題解決が向上し、その際に産出された図の質も向上する」「作図を促さない場合には問題解決は向上しない」という結果を得た。これはStemら (2003) による、図を描きながら学習した場合の方がより大きな転移効果が生じるという研究結果を支持するものであった。

しかしこれらの先行研究では、学習の際に予め完成図が被験者に与えられ、さらに問題に対して利用すべき図の種類が1対1対応で限定されており、学習者の作図活動の自発性については適切に取り扱われていない。すなわち、学習者自身が「何のために」「どう」作図するのかという点に焦点が当てられておらず、知識表象としての図の価値について学習者の認識や産出される図の自由度についての考察が十分でない。

1.2. 本研究の目的

そこで本研究では、モノの仕組みを理解する際に、作図活動における自発性を強調することで、①適切な図を与えられた場合よりも、自ら作図しながら学習するよう教授された場合の方が理解に向上が見られるか、

②作図活動に対する支援に効果があるのか、の2点について検討した。

作図活動の自発性を保証するために、本研究では、「作図しなければ理解しづらい」「理解するには作図が必要である」と学習者自身が思うような題材と、教科学習のように問題とそこで利用すべき図表の対応付けが予めなされていない題材（すなわち、作図の自由度が高い題材）を選択した。具体的には「モノの仕組みの科学的な理解」が、この条件を満たし、被験者の多様な知識表象を産出させることが可能な題材であると考え、実験に採用した。

2. 実験

2.1. 被験者

国立大学情報系学部3, 4年生24名（男子18名, 女子6名）。各条件に8人ずつ無作為に振り分けた。但し、男女比は各条件で差が出ないようにし、被験者には個別に実験に参加してもらった。

2.2. 学習内容

エアコンの仕組みと冷房機能の原理について、その仕組みを学習してもらった。題材にエアコンの仕組みを取り上げたのは、エアコンは冷房と暖房という、異なるが対になる機能を備えており、エアコンそのものの仕組みと冷房の原理、すなわち冷媒の状態変化について学習し十分理解した後であれば、もう片方の機能（暖房）の原理についても推論しやすく、学習の転移を測定しやすいと考えたためである。

2.3. 実験条件

本研究は一要因実験計画で行った。設定した条件群は単純作図条件、完成図提示条件、未完成図提示条件の3群である。3群に共通して使用した実験用教材は、エアコンの仕組みと冷房機能の原理について書かれた、3つのチャプターからなる文章である。これに加えて完成図提示条件ではエアコンの構造図(図1)を使用した。この構造図には、エアコンの室内機と室外機それぞれの中に組み込まれている熱交換器や圧縮器などの重要な機器の他に、それらの間を循環する冷媒の温度や状態についても図示し、文章教材だけでは分かりづらいと思われる部分を補完した。一方、未完成図提示条件

ではエアコンの構造の枠組みだけを描いた図(図2)を使用した。これら3条件のうち、未完成図提示条件及び単純作図条件と完成図提示条件を比較することで作図活動が理解を促進するのかを、未完成図提示条件と単純作図条件を比較することで作図活動に対する支援に効果があるのかを検討した。

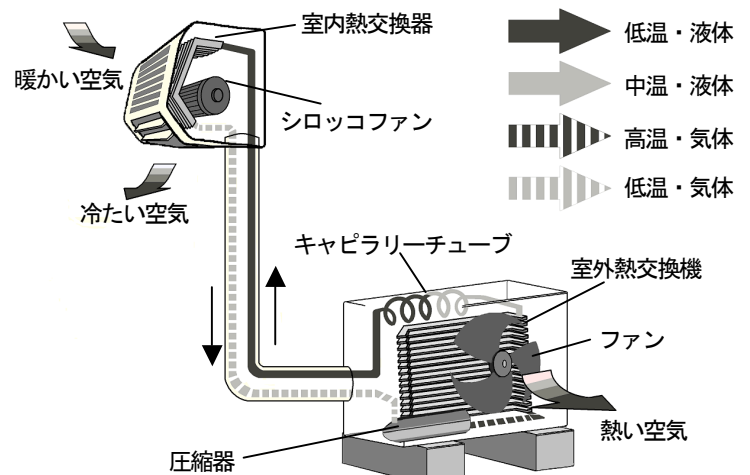


図1 エアコンの構造図

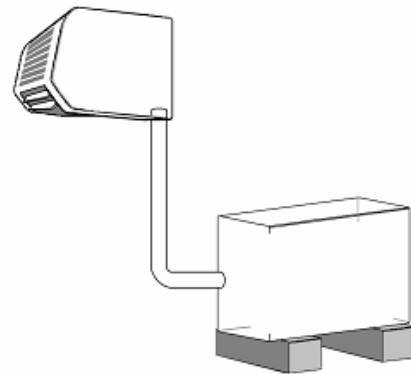


図2 エアコンの構造の枠組み

2.4. 手続き

実験は事前テスト、学習セッション、事後テストの順に行った。事前テストではエアコンの仕組みや冷房機能の原理について、被験者に自分なりの考えを説明してもらうことで学習前の知識の測定を行った。ここでは必要であれば自由に作図をしながらの説明を許可した。

学習の際にはチャプターごとに文章教材を渡し、学習中は音読するよう指示した。完成図提示条件と未完

成図提示条件では、チャプター1の文章教材と一緒に図を渡し、チャプター3まで同じ図を使用してもらった。学習中は文章教材へのライン引きやメモ、図を参照することは自由としたが、図への書き込みは禁止した。学習時間に制限は設けず、被験者には十分理解できたと感じるまで学習するよう促した。学習後、各チャプター毎にその内容について説明してもらった。この時、未完成図提示条件はエアコンの構造の枠組み図に書き加えながら、単純作図条件は白紙に自由に作図しながら説明するよう教示した。

事後テストは学習の直後に行った。ここでは事前テストの問題についてもう一度説明してもらい、内容理解の測定を行った。更に転移課題として暖房運転の仕組みと原理についても説明してもらった。このとき被験者から希望があった場合には作図を許可した。また、被験者の説明が進まなかった場合には作図を促した。この一連の実験中の様子をビデオに録画した。

2.5. 本研究における仮説

本研究で検討する仮説の1つ目は、作図の自由度と被験者の理解度の関係についてである。Stem et al. (2003) によって、与えられた図を利用する場合に比べて、作図活動を通して学習した場合には、より大きな学習の転移が生じると示されていることから、適切な図を与えられた場合よりも、自ら作図しながら学習するよう教授された場合理解が向上すると考えた。すなわち、未完成図提示条件と単純作図条件がともに完成図提示条件よりもより高い理解を獲得することができると予想された。

仮説の2つ目は、作図活動支援の効果についてである。植阪 (2003) では適切な図表を描かせる教授的介入を行い、作図が問題解決に有効となるのは、学習者が適切な図を描ける場合に限ることを明らかにしている。また、この教授的介入の結果、学習者による質の高い図表の自発的な産出量が増えることも明らかになった。しかし、このとき学習者は短期間に集中的に作図活動を推奨する支援を受けていることから、学習者は暗黙のうちに作図を強制される環境におかれていた可能性が考えられ、本来の意味での自発的な作図とは言い難い。

ここから、①学習者が適切な作図が可能であり、②本来の意味での自発的な作図を学習者がしうる、という2つの条件を満たす支援が必要であると考えられた。そこで作図活動の自由度を確保したうえで、学習者が

より適切な作図活動を行える作図の枠組み、すなわちエアコンの枠組み図を用意した。

この図を与えることである程度問題領域が限定され学習者がエアコンの仕組みについて学習・理解していく際の手がかりになると考えたのである。前述の①②の条件に効果があった場合、未完成図提示条件が単純作図条件よりも高い理解を獲得することが予想された。

2.6. 被験者理解の評定手続き

それぞれの条件の事前テスト・事後テストにおける、被験者のエアコンの仕組みや冷房機能の原理に関する説明から、彼らの心的モデルを分析した。分析の観点には、冷媒の循環サイクル、室外機、室内機という3つのエアコンの基本的仕組みと、エアコンが動作する際にそれぞれの仕組みがどのような役割を果たしているか、さらに、その役割がどのような原理で実現されているかの3点であった。これらについて、学習に使った文章からエアコンについて理解する際に重要な文章命題を抽出し、それぞれ関係が明記されている命題同士をリンクで結んで構造化した図を用意し、事前テスト・事後テストにおける学習者の説明内容と比較・評定した。さらに、教材には明記されていないものの、明記されている内容から推測することで学習内容がより深く理解できると考えられる命題とそれに関するリンクも付加した。

二人の独立した評定者が、データの一部 (3名) を評価したところ、その評定一致率が80%を上回ったため、この文章命題構造を基準として、被験者の理解を評定する妥当性が得られたと判断した。その後は第一著者がすべての被験者を評定した。

3. 結果

3.1. 事前テスト

被験者の発言内容を命題的知識表象の構造図と照らし合わせ、そこに現れる要素数および要素間のリンク数の合計をその被験者の事前テスト得点として一要因分散分析を行なったところ、条件間で有意差は見られなかった (図3)。これより、どの条件群においても学習前の段階ではエアコンの仕組みや冷房機能の原理についての知識に差はほとんどなく、被験者の振り分けには問題がなかったことが示された。

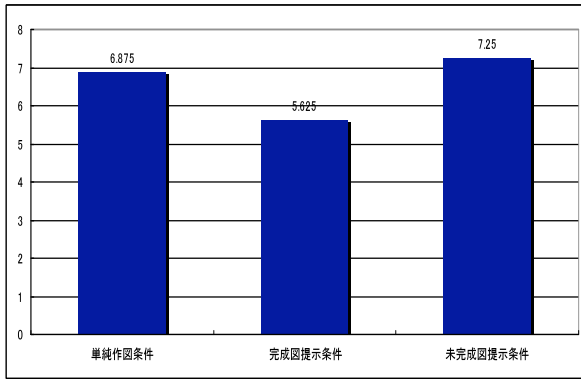


図3 事前テストの得点

3.2. 事後テスト

3.2.1. 内容理解の測定

事後テストにおいて被験者の発言内容を文章命題構造図と照らし合わせ、そこに現れる要素数および要素間のリンク数の合計をその被験者の事後テスト得点として分散分析を行ったところ、条件間で差異は見られなかった。各条件で得点の度数分布を検討したところ、得点の上位と下位部分にモードが見られたので、分布の影響を考慮して、さらに各条件の被験者を上位群と下位群に分けて分析を行った。3 (条件) × 2 (上位・下位群) の二要因分散分析を行なったところ、やはり有意差はみられなかった (図4)。この結果は、学習内容の理解において、自発的な作図活動は意味のある学習効果を持っているとする著者らの仮説1および2を否定するものであった。

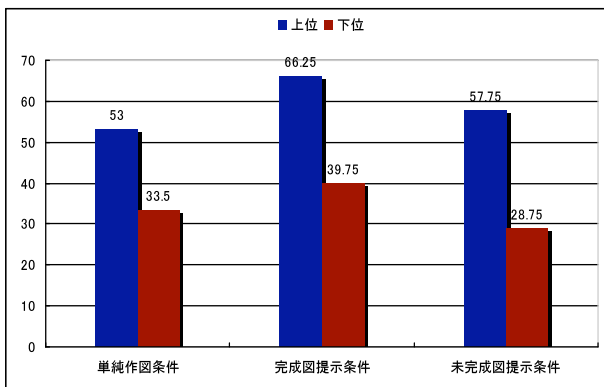


図4 内容理解の測定の得点

3.3.2. 転移課題

転移課題 (暖房運転の仕組みと原理) については、事前テスト・事後テストと同様に事前に文章命題構造図を作成し、被験者の説明に現われた要素および要素

間のリンク数の合計をその被験者の転移課題の得点とした。内容理解の測定同様各条件の得点の分布に上位群、下位群のモードがみられたため、各条件において被験者を上位群と下位群に分けて3 (実験条件) × 2 (上位・下位) の二要因分散分析を行なったところ、実験条件の主効果が有意となり ($F(2, 18) = 3.98, p < .05$)、ニューマン・キュールスの多重比較の結果、未完成図条件が他の二つの条件よりも上位群、下位群ともに有意に得点が高いことがわかった (図5)。これは、「適切な図を与えられた場合よりも自ら作図しながら学習するよう教授された場合理解が向上する」とする仮説1を部分的に、そして、「作図活動に支援を加えた場合にも、被験者の理解は促進される」とする仮説2を支持する結果であった。

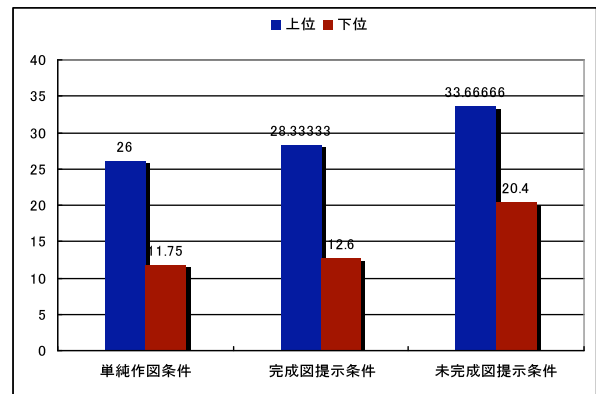


図5 転移課題の得点

4. 考察

4.1. 結果のまとめ

本研究では、モノの仕組みを理解する際に自発性を強調した作図活動が理解向上に及ぼす影響と、作図活動に対する支援の効果について検討を行った。

実験では単純作図条件、完成図提示条件、未完成図提示条件の3群を用意し、それぞれの条件における被験者の理解の向上を分析したところ、事後テストの内容理解の測定においては、条件間では差が見られなかった。一方、転移課題においては、未完成図提示条件の得点が上位群・下位群ともに有意に高いという結果となった。

ここからは、これらの結果を2.5.で述べた仮説に対応させて考察していく。

4.2. 作図活動と学習内容理解の向上

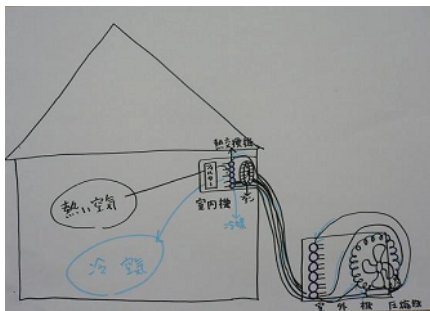
ここでは、仮説1「作図活動は理解の向上を促す」について考察する。今回の実験結果は仮説1を部分的にはあるが支持するものであると考えられる。学習教材に関連する内容（冷房の仕組み）の理解の向上にはその効果が見受けられなかったが、転移課題（暖房の仕組み）においては、作図を支援された条件においてその効果が明らかとなった。

まず、仮説に反して事後テストにおいて、作図活動の学習効果が見られなかった原因について考えてみる。これについては内容理解の測定方法が理解と記憶を適切に判別することができなかったという問題点を指摘できる。内容理解の測定は文章教材のチャプター3の学習終了直後に行われた。そのため、記憶している学習内容を復唱するだけでもある程度正確な回答が可能であり、作図活動の有無や産出された図の質はそれほど影響を及ぼさず、結果、条件全体で比較した際に有意差が出なかったのではないかと考えられる。事後テストにおける説明時には、どの学習者も説明のための作図を許されていた（図6）。説明する言葉の上での評価では、その学習効果に有意な差が見られていないが、実際に描かれる図を見る限り、その理解内容のレベルには顕著な差があるように推察される。これは転移課題における学習効果の違いとして現れていると考えられる。

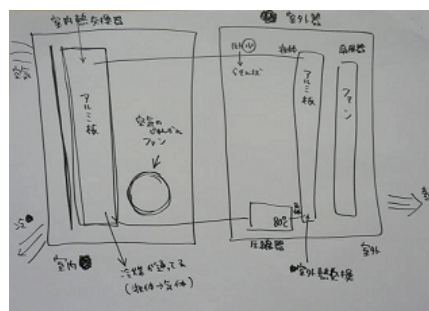
転移課題は、学習教材の理解を記憶から検索するだけでなく、それを適切に利用して推論を展開せねば正しく説明できない問題であった。説明の際、被験者は内容理解の測定で作図した図を説明に使うことができ

た。内容理解の測定で自発的に作図したのは完成図提示条件5名、未完成図提示条件7名、単純作図条件7名であった。ここから、作図を付加した条件群の被験者の方が自発的に作図するようになったということが推察される。図6は内容理解の測定において実際に被験者が生成した図の例である。未完成図提示条件の被験者の図は他の2条件に比べると、描画内容が整理されており、エアコンを構成する機械の位置や形状もより具体的に描かれていることがわかる。未完成図提示条件の被験者は、このような図を用いて転移課題で暖房の仕組みを考えることが可能であった。すなわち、適切なメンタルモデルを外化し、それを参照することで暖房運転時の冷媒の流れを推測しやすくなり、正しい説明を導き出しやすくなったものと考えられる。

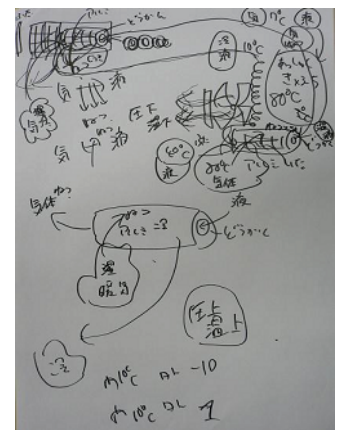
一方、完成図提示条件については、他の2条件の被験者に比べて内容理解の測定の際に作図しなかった者が多かった。事後テストで作図しなかった者からは、「内容理解の測定の際は学習教材で与えられた図を頭の中でイメージしながら説明した」という報告が実験後のインタビューで得られた。内容理解の得点は、有意差は出なかったものの、3条件の中では最も高かった。これは、図を参照しながら学習した完成図提示条件の被験者が、ある程度正確な視覚的表象を記憶には留めることができおり、テキストベースの説明と統合させて冷房の仕組みについて説明できていたと考えられる。しかし、転移課題の説明の際には、提供された適切な図は頭の中で自由に操作できる知識表象としては構築されていなかったことを結果は示している。また、事



未完成図提示条件



完成図提示条件



単純作図条件

図6 内容理解の測定で産出された図

後テストにおいて冷房の仕組みの自発的な作図活動を行った被験者も、完成図提示条件ではその図自体が適切さを欠き、それを利用した推論も適切に行われることは少なかったと判断できる。

4.3. 作図活動に対する支援

今回の実験では、事後テストの転移課題においてのみ未完成図提示条件の得点が単純作図条件よりも有意に高く、「作図活動に支援を加えた場合、被験者の理解は促進される」とする仮説2を支持する結果となった。これについては4.2.で述べたように、未完成図提示条件の被験者が事後テストの説明の際に自発的に生成した図の質が高かったことから、学習中の作図活動を通してより深いレベルの理解を獲得していたことがその理由として考えられる。さらには、その自発的な作図活動によって生成した自らの外化物がその後の更なる問題解決（転移課題）において有効に利用されていた可能性も示唆される。ここでは、なぜ未完成図提示条件で産出された図の質が高くなったのかについて、さらに考察を進めてみたい。

学習中に被験者に提供した未完成図には、エアコンの室内機と室外機、それに室内と室外をつなぐパイプの枠線のみが描かれていた。未完成図提示条件の被験者は、この図を与えられ、そこへ文章教材に書かれていることを書き加えるよう教授された。その際、作図の自由度を強調するために、未完成図に書き加えるモノやその方法については一切具体的な指示はしなかった。しかし、エアコンの枠組みが描かれた図を提示されたことによって、被験者には「枠の中に納まるようにエアコンの内部構造を描かなければならない」という制約、また、枠組みが奥行きを持たせて立体的に描かれていることから「奥行きも考慮して作図しなければならない」という制約が暗黙的に課せられていた。未完成図に描かれているエアコンの枠組みは決して大きくはないため、その中に上手く図を納めるためには慎重に教材を読み、エアコン内部の機械の形状や配置、冷媒の流れについて正確に把握することが必要となる。そのために学習が慎重・丁寧になり、理解が促進されたことが内容理解の測定で産出された図の質を上げた要因の一つだと考えられる。また、予め与えられた図に書き加えなければいけないという条件は、被験者が描く図の方向性のある程度制限するものであるが、一方で、どういうものを作図すればいいのかという方向性を示唆する、すなわち、作図の「取りかかり」を提

供し、被験者のイメージを収束させやすくする役割も果たしていたと考えられる。

5. 結論と今後の課題

本研究の結果は、作図が物事を理解する際に有効な学習方略であることを示すものであったが、同時に、作図に対する被験者の自発性を保証したり、作図に自由度を持たせたりするだけでは必ずしも理解向上には結びつかないことも明らかにした。

学習時の作図活動は単に描けばよいのではなく、学習内容の正確な仕組みや構造にある程度近いものを描かせる必要がある。しかし、学習内容によっては学習者自身でそれを行うことは容易ではなく（今回の教材はその良い例である）、作図に対する支援が必要であることが示された。

今後は、理解促進のために有効な手段として作図活動を学習者に認識させるためには、さらにどのような教授が必要であるかを、学習者独自の学習方略と作図による理解度の差の関係や、作図がより有効な理解深化の手段となり得る課題はどのようなものであるかということを含めて検討する必要がある。

参考文献

- Ainsworth, S., & Loizou, A. T. (2003). The effects of self-explaining when learning with text or diagrams. *Cognitive Science*, 27 669-681
- 市川伸一 (1993) 「数学的な考え方」をめぐる相談と指導 学習を支える認知カウンセリング□心理学と教育の新たな接点- (市川伸一編) p36-61 ブレーン出版
- Larkin, J. H. & Simon, H. A. (1987) Why a diagram is (sometimes) worth ten thousand words. *Cognitive Science*, 11 65-99
- Stern, E., Aprea, C., Ebner, H. G. (2003) Improving cross-content transfer in text processing by means of active graphical representation. *Learning and Instruction*, 13 191-203
- 植阪友理 (2003) 数学的問題解決の道具としての図表の利用を定着させる授業法の提案 学校臨床研究 2(1),114-119,20030331 (東京大学)