

Erroneous worked-out exampleによる概念理解の促進効果： 事前知識に着目した実験的検討

Effect of Learning from Erroneous Worked-out Example: An Experimental Investigation on Prior Knowledge

下條 志巖[†], 林 勇吾[‡]
Shigen Shimojo, Yugo Hayashi

[†] 立命館大学大学院人間科学研究科, [‡] 立命館大学総合心理学部
Ritsumeikan University
cp0013kr@ed.ritsumei.ac.jp

概要

Erroneous worked-out example(EWoE)は、エラーの修正による学習プロセスの深化によって有効であるが、事前知識に影響を受ける。本研究では、コンセプトマップを用いた協同学習場面において、WoEと比較し、事前知識の高低に着目し、EWoEの有効性を確かめた。本実験では、ACT-Rを用いた認知モデルを搭載したシステムによって適応的に実例を提示した。その結果、WoE・EWoEの提示が描画パフォーマンスを高め、EWoEの提示効果が事前知識の多い場合と少ない場合にもあることが示唆された。

キーワード：協同学習, CSCL, 熟達化反転効果, Erroneous example

1. はじめに

協同学習は、他者の知識に基づいて意見を説明する必要があるため、知識を吟味する機会が増え理解が深まることが分かっている [1]。ただし、他者の知識への気づきは困難である。そこで、CSCL (Computer-Supported Collaborative Learning) では、知識の気づきを促進させる Knowledge awareness ツールとして、コンセプトマップを用いた検討が行われ、他者との類似点や相違点に関する気づきが促進され、理解が深まることが分かっている [2]。コンセプトマップは、命題の形で概念間に意味のある関係を表現できる図解道具である [3]。そのため、コンセプトマップを用いた協同学習は、知識を命題の形で構造化し、他者の知識を可視化できる点で概念学習に有用である。

一方で、コンセプトマップを用いた協同学習においては、他者の知識を取得や修正する必要があるため、認知負荷が増大することが指摘されている [2]。また、初学者は、新しい知識を既存知識と統合することが困難であることが分かっている [4]。そのため、コンセプトマップを用いた協同学習は、学習テキストを理

解する上で有用であるが、初学者に対して認知負荷を軽減させ、学習プロセスに従事させる支援を行うことが重要である。そうした学習方法として、Worked-out exampleがある。Worked-out exampleは、学習者が従事している課題の目的と手段の検索を排除できる [6]。また、間違いを含む実例である Erroneous worked-out example の検討も行われている。事前知識が多い場合は Erroneous worked-out exampleの方が転移パフォーマンスは向上するが、事前知識が少ない場合は Worked-out exampleの方が促進されることが分かっている [7]。これは熟達化反転効果と呼ばれている [8]。したがって、Erroneous worked-out exampleの効果は事前知識が多い場合にとどまっている。

システムを用いた Erroneous worked-out exampleに関する検討も行われており、転移パフォーマンスの促進効果が明らかとなっている [9]。[10]では、小数の学習において、問題解決との比較を行い、小数の大小に関するエラーを含む実例がより転移パフォーマンスにおいて促進されることが分かった。Erroneous worked-out exampleによって、学習者は大小関係のエラーを特定、説明、修正することはより深いレベルで処理することが指摘されている。また、[12]では、事前知識が高い場合、実例の効果が逆転することが指摘されている。つまり、事前知識が少ない場合は Worked-out example、事前知識が多い場合は Erroneous worked-out exampleが有効である。[13]では、事前知識が少ない学習者は、提示された実例に含まれる典型的な間違いを探しながら、学習内容の新しい情報を記憶に保持することができない可能性を指摘している。また、Erroneous worked-out exampleにおいては、典型的な間違いを用いることの有用性が指摘されている [14]。以上より、Erroneous worked-out exampleは、典型的な間違いを提示することが重要であり、事前知識が少ない場合には効果は逆転すると考

えられる。ただし、協同学習におけるシステムによる Worked-out example との比較による効果やコンセプトマップを用いた実例における検討は不十分である。

本研究では、人間が世界を認識し考え行動する方法を詳細に捉える理論とアーキテクチャである ACT-R[15] を用いた実例の提示による学習支援を検討する。ACT-R は、コンセプトマップを用いた協同学習に関する宣言的・手続き的知識を含んだ学習者の認知モデルを構築でき、視覚モジュールやイマジナルモジュールにより適応的な実例の提示ができる。構造的な概念理解を反映するために描画パフォーマンスを用いる。Worked-out example と Erroneous worked-out example は、目的と手段の検索を削除することができ、後者はエラーの修正を行うためより深い学習プロセスに従事できる。ただし、事前知識による影響を受け、Worked-out example は課題の目的と手段を排除することができるため、事前知識が少ない場合に有効であり事前知識が多い学習者は必要ない。また、Erroneous worked-out example は事前知識が少ない学習者にはエラーの修正は負担になるため、事前知識が多い場合に有効である。仮説としては実例が提示されない学習者よりも、実例が提示される学習者の描画パフォーマンスが高く、Worked-out example が提示される学習者よりも Erroneous worked-out example が提示される学習者の描画パフォーマンスが多いと予想される (H1-1, H1-2, H1-3)。一方で、事前知識と学習支援方法には、交互作用があると予想される。具体的には、実例が提示されない場合は事前知識が少ない学習者よりも多い学習者は描画パフォーマンスが高く (H2-1)、Worked-out example が提示される場合では事前知識が多い学習者より少ない学習者は描画パフォーマンスが高い (H2-2) が、Erroneous worked-out example では逆転する (H2-3) と予想される。

2. 方法

2.1 実験参加者

本実験では、84名(男性32人、女性52人)の心理学を専攻する1,2年生の大学生が参加した。また、平均年齢は、19.42歳 ($SD = 2.39$)であった。

本研究は、一要因(統制条件 vs. worked-out example 条件 vs. Erroneous worked-out example 条件)参加者間計画を採用した。統制条件は実例が提示されず、Worked-out example 条件(以後 WoE 条件)は正しい実例が提示され、Erroneous worked-out example 条件(以後 EWoE 条件)は間違いを含む実例が提示された。

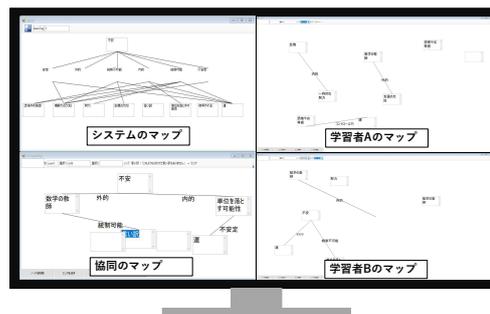


図1 課題画面の例。

2.2 実験手続き

本実験では、学習者は、まず実験の説明を受け、同意した学習者のみ参加した。次に、コンセプトマップの説明と作成方法を学んだ。コンセプトマップの作成方法が理解できた後、学習者は成功と失敗の原因帰属の学習テキストを学習した。本課題では、新学期が不安な学生のスクールカウンセリング場面のエピソードを参照し、なぜ新学期が不安であるのか成功と失敗の原因帰属に基づいて推論し、単独でコンセプトマップを作成した。その後、単独のコンセプトマップを参照しながら、協同でコンセプトマップを作成した。本課題は、[16]において開発した説明課題を用いた。図1は、本課題の協同における WoE 条件と EWoE 条件の課題画面の例である。WoE 条件と EWoE 条件は、左上にコンセプトマップが提示され、システムが提示したコンセプトマップと単独のコンセプトマップを参照しながら、協同で左下にコンセプトマップを作成した。WoE 条件では、学習者ペアが作成している協同マップに基づいて正しいマップが作成された。一方で、EWoE 条件では、間違った命題を含むマップが作成された。両方の条件では、学習者にシステムが作成したコンセプトマップを参考にしたり、間違っていたら、訂正したりするように教示した。

2.3 実験システム

本実験では、協同でコンセプトマップを作成する際に、WoE 条件と EWoE 条件において ACT-R を用いた認知モデルを搭載したシステムを用いた。間違いを含む宣言的知識を搭載しているかどうか異なる点であった。また、典型的な間違いを採用した。

まず、学習テキストとエピソードに関する知識を命題の形で ACT-R に記述した。たとえば、(p1 ISA episode phenomenon "anxiety" cause "effort") や (p4

ISA learningtext dimension "internLink" cause2 "effort")であった。P1の知識はエピソードに関する知識であり、「不安の原因が努力である」ことを示す。P4は学習テキストに関する知識であり、「内的な原因は努力である」ことを示す。

次に、学習者の状態に応じた実例を提示するために、コンセプトマップを協同で作成する手続き的知識を掲載した。具体的には、協同マップから命題を取り出しシステムに搭載された宣言的知識と比較し、正しいのか判断した。もし正しければ、それをコンセプトマップ上に表示するようにした。正しくない場合は、自分の知識（システムの知識）、もしくは他者の知識（協同のコンセプトマップ）を検索し、活性値の高い知識をコンセプトマップに記述した。したがって、協同のコンセプトマップの状態に応じた実例が提示された。

2.4 従属変数

本研究では、従属変数として構造的な理解を反映する描画パフォーマンスを用いた。描画パフォーマンスは、[17]のコーディング基準に基づき3つの次元がリンクに含まれていない：0点から3つの次元がリンクに含まれ3次元間に繋がりがあがる：5点であった。

3. 結果

ここでは、H1を検証するために一要因（統制条件 vs. WoE条件 vs. EWoE条件）分散分析を行った。その結果、条件間に差があることが分かった ($F(2, 81) = 10.65, p < .001, \eta_p^2 = .21$)。次に、Shaffer法による多重比較を行ったところ、統制条件よりもWoE条件とEWoE条件が高いことが分かった ($p = .025; p < .001$)。また、WoE条件よりもEWoE条件の方が高いことが明らかとなった ($p = .030$)。以上より、H1-1, H1-2, H1-3は支持されたといえる。

次に、H2を検証するために、二要因（学習支援：統制条件 vs. WoE条件 vs. EWoE条件 × 事前知識：事前知識低 vs. 事前知識高）参加者間分散分析を行った。その結果、交互作用がみられた ($F(2, 78) = 3.37, p = .039, \eta_p^2 = .08$)。次に、単純主効果の検定を行ったところ、事前知識の高低における学習支援の単純主効果がみられた ($F(2, 78) = 3.97, p = .023, \eta_p^2 = .09; F(2, 78) = 9.49, p < .001, \eta_p^2 = .20$)。Shaffer法による多重比較の結果、事前知識が少ない学習者は、統制条件よりもWoE条件とEWoE条件が協同における描画パフォーマンスが高いことが分かった ($p = .001; p < .001$)。また、事前知識が多い学習者は、統

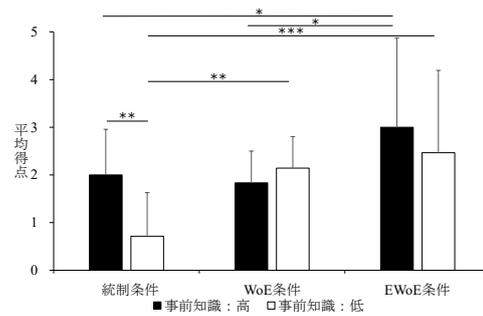


図2 事前知識の高低と描画パフォーマンスに関する多重比較の結果。

制条件とWoE条件よりもEWoE条件が協同における描画パフォーマンスが高いことが分かった。一方で、統制条件における事前知識の単純主効果もみられた ($F(2, 78) = 3.37, p = .039, \eta_p^2 = .08$)。Shaffer法による多重比較の結果、統制条件の学習者は、事前知識が多い方が、事前知識が少ない場合よりも協同における描画パフォーマンスが高いことが分かった。図2は、条件と事前知識における描画パフォーマンスに関する多重比較の結果である。以上より、H2-1は支持されたが、H2-2とH2-3は支持されなかった。

4. 考察

本研究では、コンセプトマップを用いた協同学習における認知モデルを用いた実例の適応的な提示による学習支援を検討した。その結果、統制条件よりもWoEとEWoE条件が高く、EWoE条件がWoE条件よりも描画パフォーマンスが高いことが明らかとなった。一方で、統制条件では事前知識が少ない学習者よりも多い学習者は描画パフォーマンスが高かったが、WoE条件とEWoE条件における学習者では差がないことが分かった。また、WoE条件は統制条件よりも事前知識が少ない学習者の描画パフォーマンスが高く、EWoE条件は他の条件よりも事前知識が多い学習者の描画パフォーマンスが高いことが分かった。

Worked-out exampleは、認知負荷が軽減されたため、描画パフォーマンスが高くなったと考えられる。[1]では、転移パフォーマンスにおいてのみErroneous worked-out exampleの効果のみみられ、Worked-out exampleとの比較は行われていなかった。また、Erroneous worked-out exampleがWorked-out exampleより深い理解に至っていたことが分かった。また、WoE条件とEWoE条件における発話が本実験のシステムによって進んでいたのか事例的に検討した。WoE条件では、「外的の箇所、システムすごいね」などと話し、それに従ってコンセプトマップを作成していた。また、

EWoE 条件では、「支援の欠如って違いますよね」などと間違いを指摘し、「誰にもコントロールできないので劣等感じゃないですかね」というように間違いを修正し、深い議論になっていることが分かった。したがって、WoE 条件では提示された実例に従っており、EWoE 条件では間違いを修正する過程で深い学習プロセスに従事していることが分かった。

[13] や [6] では、事前知識が多ければ、Erroneous worked-out example の効果がみられるが、事前知識が少ない場合は Worked-out example の効果がみられることを指摘している。本研究では、事前知識が少ない学習者は、Worked-out example の効果を受けることが分かったが、Erroneous worked-out example の効果は、事前知識の少ないことによる悪い影響は受けず、事前知識が多い場合はさらに Worked-out example に比べて理解を深めることが示唆された。こうした理由の一つとして、実例がコンセプトマップであったことが挙げられる。[5] では、学習テキストの構造を理解し、活用する構造方略の熟練度が学習に関係することが明らかになっている。つまり、学習テキストを構造的に示すことで、事前知識が少ない学習者においても構造的な理解が促進されたと考えられる。また、事前知識が少ない学習者であっても協同で説明し合う途中で知識を吟味するため、理解が深まり、その補助としての効果があった可能性も考えられる。

本研究における限界点としては、詳細な学習プロセスの検討は行えなかった点と直接的に転移パフォーマンスの効果を確かめたわけではない点が挙げられる。そのため、今後の検討としては、発話やコンセプトマップのログ情報からさらに適応的な Erroneous worked-out example の提示による学習支援を検討し、転移パフォーマンスや学習プロセスの分析を通して、学習促進効果をより詳細に明らかにすることである。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP23H03510 の助成を受けた。

文献

- [1] Chi, M. T. H., Wylie, R., (2014) “The ICAP Framework: Linking Cognitive Engagement to Active Learning Outcomes”, *Educational Psychologist*, Vol. 49, No. 4, pp. 439-477.
- [2] Engelmann, T., Hesse, F. W., (2010) “How digital concept maps about the collaborators’ knowledge and information influence computer-supported collaborative problem solving”, *Computer-Supported Collaborative Learning*, Vol. 5, pp. 299-319.
- [3] Novak, J. D., Gowin, D. B., (1984) “Learning how to learn”, New York: Cambridge University Press.
- [4] Chi, M. T. H., Leeuw, N. D., Chiu, M. H., Lavancher, C., (1994) “Eliciting Self-Explanations Improves Understanding”, *Cognitive Science*, Vol. 18, pp. 439-477.
- [5] Meyer, B. J. F., Ray, M. R., (2012) “Children’s Use of Comparative Text Signals: The Relationship between Age and Comprehension Ability”, *A Journal of Linguistics, Psycholinguistics and Computational Linguistics*, Vol. 10.
- [6] Sweller, J., van Merriënboer, J. J. G., Paas, F. G. W. C., (1998) “Cognitive Architecture and Instructional Design”, *Educational Psychology Review*, Vol. 10, No. 3, pp. 251-296.
- [7] Grosse, C. S., Renkl, A., (2007) “Finding and fixing errors in worked examples: Can this foster learning outcomes?”, *Learning and Instruction*, Vol. 17, pp. 612-634.
- [8] Kalyuga, S., Ayres, P., Chandler, P., Sweller, J., (2003) “The expertise reversal effect”, *Educational Psychologist*, Vol. 38, pp. 23-31.
- [9] McLaren, B. M., Adams, D. M., Mayer, R. E., (2015) “Delayed Learning Effects with Erroneous Examples: a Study of Learning Decimals with a Web-Based Tutor”, *International Artificial Intelligence in Education*, Vol. 25, pp. 520-542.
- [10] Adams, D. M., McLaren, B. M., Durkin, K., Mayer, R. E., Rittle-Johnson, B., Isotani, S., van Velsen, M., (2014) “Using erroneous examples to improve mathematics learning with a web-based tutoring system”, *Computers in Human Behavior*, Vol. 36, pp. 401-411.
- [11] McLaren, B. M., van Gog, T., Ganoë, C., Karabinos, M., Yaron, D., (2015) “The efficiency of worked examples compared to erroneous examples, tutored problem solving, and problem solving in computer-based learning environments”, *Computers in Human Behavior*, Vol. 55, pp. 87-99.
- [12] Renkl, A., (1997) “Learning from Worked-Out Examples: A Study on Individual Differences”, *Cognitive Science*, Vol. 21, No. 1, pp. 1-29.
- [13] Adams, D. M., McLaren, B. M., Durkin, K., Mayer, R. E., Rittle-Johnson, B., Isotani, S., van Velsen, M., (2012) “Erroneous Examples Versus Problem Solving: Can We Improve How Middle School Students Learn Decimals?”, *Proceedings of the 34th Meeting of the Cognitive Science Society (CogSci2012)*, pp. 1260-1265.
- [14] Kurnia, I. A., Retnowati, E., (2017) “What is erroneous worked example and how is it looks like in social arithmetic?”, *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 1200, pp. 1-9.
- [15] Anderson, J. R., (2013) “Human symbol manipulation within an integrated cognitive architecture”, London: Routledge, pp. 313-341.
- [16] 下條志敏, 林勇吾, (2021) “協同学習におけるコンセプトマップを用いた説明活動のファシリテーション 協調的プロセスと論争的プロセスに着目した検討”, *認知科学*, Vol. 28, No. 4, pp. 499-521.
- [17] Shimojo, S., Hayashi, Y., (2021) “Laboratory Study on ICAP Interventions for Interactive activity Investigation Based on Learning Performance”, *Proceedings of the 29th International Conference on Computers in Education. Asia-Pacific Society for Computers in Education (ICCE2021)*, pp. 132-141.