

問題解決型学習における認知負荷と認知処理の関係 についての実験的検討

Experimental Investigation of Relationship between Cognitive Loads and Cognitive Processes in Learning through Problem Solving

水野陽介¹ 三輪和久¹ 小島一晃² 寺井仁³

Yosuke Mizuno¹, Kazuhisa Miwa¹, Kazuaki Kojima², and Hitoshi Terai²

¹名古屋大学情報科学研究科

¹Graduate School of Information Science, Nagoya University

²帝京大学ラーニングテクノロジー開発室

²Learning Technology Laboratory, Teikyo University

³近畿大学産業理工学部情報学科

³Faculty of Humanity-Oriented Science and Engineering, Kinki University

Abstract: In the current study, we investigated the relationship between cognitive loads and cognitive processes during learning through problem solving. We proposed a cognitive model and tested this model with Reversi game as an experimental task. To control three types of cognitive load, we developed a learning environment in which participants were given the best move as help information and discs on the board could be indistinct. In this environment, we controlled intrinsic load with presenting the help information, extraneous load with making the board indistinct, and germane load with instruction. Experimental results revealed that the cognitive model we proposed was effective and implied that model-based research on cognitive load theory might be promising.

1. 序論

認知負荷理論

学習にはワーキングメモリが重要な役割を担う。効果的な学習のためには、記憶容量が限られているワーキングメモリ資源を有効に利用することが重要となる。コンピュータによる学習支援システムは、限られたワーキングメモリ資源への負荷を軽減することで学習の促進を試みている。学習支援システムが学習効率やパフォーマンスの向上に与える効果を検証するためには、ワーキングメモリへの負荷を検討する必要がある。ワーキングメモリに負荷を与える認知資源のことを、認知負荷(Cognitive Load)と呼び、1988年にSwellerにより提唱されて以来、研究が重ねられてきた。[1]

認知負荷理論では、認知負荷を課題内在性負荷・

課題外在性負荷・学習関連負荷の3種類に分類する。
[2]

課題内在性負荷は、課題遂行に関連する負荷であり、学習において考慮すべき要素の数によって定義されている。課題外在性負荷は、学習とは関連しない処理が与える負荷である。学習支援システムにおいては、ユーザーインターフェイスの設計が悪いことにより高まる負荷である。学習関連負荷は、スキーマ構築など学習と関連する負荷である。

学習支援システムは、学習者の課題外在性負荷を最小化させ、学習者のワーキングメモリ容量を超過しないように、課題内在性負荷と学習関連負荷を適切に制御することが、学習促進に重要であると考えられる。認知負荷理論に基づく学習支援システムの効果検証のためには、3種類の認知負荷を個別に操作し、測定することが必要である。実際、2000年代中盤以降は、この点に関して研究が行われてきたが、3種類の認知負荷を独立に制御し、測定することができた事例は少ない。[3][4][5]

認知負荷の測定には、主に主観評定や第二課題への反応時間が用いられてきた。しかし、最近ではそ

*連絡先:名古屋大学情報科学研究科
〒464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町
E-mail: y.mizuno@cog.human.nagoya-u.ac.jp

これらの指標の信頼性に疑問を呈する研究も存在する。
[6][7]

本研究では、課題遂行に関する認知モデルを仮定し、認知モデルの各プロセスに対して、3種類の各認知負荷がどのプロセスに負荷を与えるかに関する検討を行う。そのために、3種類の認知負荷を操作した実験を行い、課題への反応時間を指標に用いた分析を行う。

実験システムの題材にはオセロ課題を用いた。問題解決型の課題であり、広い問題空間を持つため、難易度の調整が容易であるという特徴を持つ。

2.実験システム

本研究では、先に開発したオセロ対戦環境を用いた実験を行った[8][9]。本環境には、支援提供機能と盤面表示操作機能という特徴がある。

支援提供機能は、図1に示したように最善手の場所を参加者に提供する。本研究における「支援」とは、参加者が石を置く際に、「最善手」の情報を提供することを意味する。

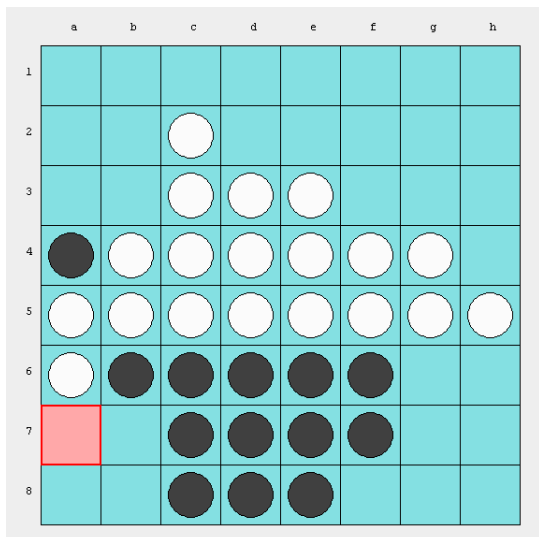


図1 最善手が支援された盤面例

盤面表示操作機能とは、盤面上の石を通常の黒石、および白石から、漢字の「白」「白」に変更する機能である。(図2)。

支援提供機能における最善手の計算および対戦相手のコンピュータが指す石の場所の計算には、オープンソースとして提供される「Edax」を用いた。

実験参加者は先手で黒石を打つこととした。参加者は画面に表示される盤面上をダブルクリックすることで石を置くことができる。支援がある場合でも、候補手を無視していずれの場所にも石を置くことができる。

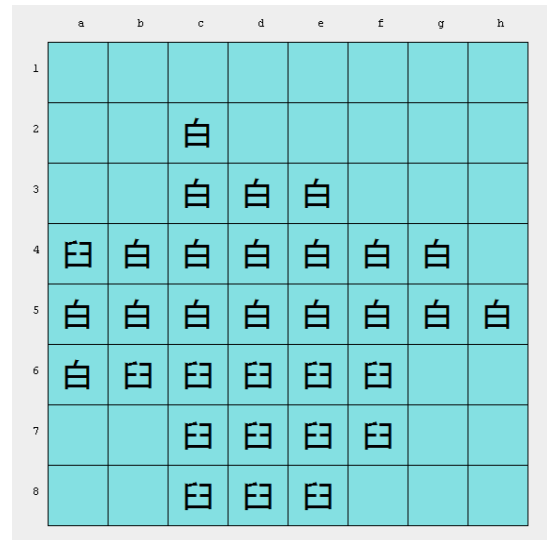


図2 白白盤面の例

3.問題解決モデルと認知負荷

本論文では、問題解決モデルを仮定し、3種類の認知負荷と認知プロセスとの関係について検討を行う。図3は、オセロ課題を解く参加者の問題解決モデルを表す[10]。最初に、「知覚プロセス」において、参加者は問題状態を認識する。続いて、参加者は次に石をどこに置くべきか決定する「処理プロセス」に移る。次の「遂行プロセス」では、処理プロセスにおいて決定された場所へ、実際に石を置く。参加者が石を置くと、それに続いて対戦相手の石も置かれ、問題状態が変化し、再び次の知覚プロセスへと移行する。この一連のプロセスに対して、各プロセスをモニターするなどして、効果的な戦略の立案などを行うメタ認知プロセスが関与する。

問題解決モデルにおいて、認知プロセスと3種類の認知負荷は以下の関係になると仮定する。課題外在性負荷は、課題を行うためには本来必要ではない

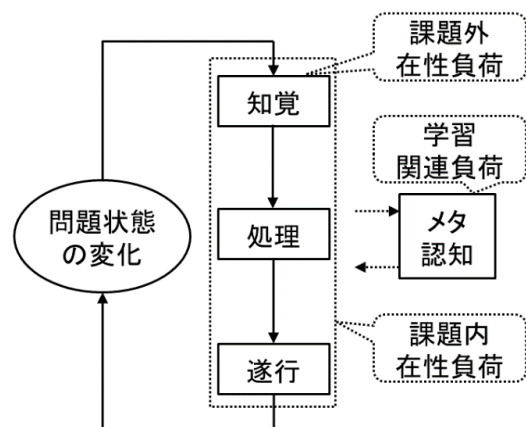


図3 問題解決モデル

負荷であり、本実験の状況においては、後に具体的に述べるように、知覚プロセスに生じる。課題内在性負荷は、課題を行うために必要な負荷であり、知覚プロセスから遂行プロセスまでの一連のプロセスに生じる。学習関連負荷はスキーマ構築に割り当てられる負荷であるので、ここではメタ認知プロセスに生じる。

本実験では、評価指標として、「1手あたりの平均時間」を用いる。これは、対戦相手が石を置いてから参加者が自分の石を置くまでの平均時間を示す。この指標は、石を置く場所を決定するための思考時間を表し、参加者の内的プロセスに生じた認知負荷の大小を反映する指標であると考えられる。

本実験では、第2章で述べた実験システムを用いて3種類の認知負荷を操作する。

課題外在性負荷は、盤面表示により操作する。「白」と「黒」を用いた盤面により、課題状況を理解するための知覚プロセスにおいて、認知負荷が増すと考えられる。すなわち、盤面要因により、課題外在性負荷を制御する。課題内在性負荷は、支援提供機能により操作する。最善手を提供することで、知覚から処理までのプロセスの負荷が軽減されると考えられる。このように、支援要因によって、課題内在性負荷を制御する。学習関連負荷は、参加者への教示により操作する。具体的には、「この目的は、どうしたら相手に勝てるかの「作戦」を発見することである。後でアンケートを行う」という教示を行うことによって、参加者のメタ認知プロセスの負荷を増大させる。すなわち、教示要因によって学習関連負荷を操作する。

仮説

前述の問題解決モデルが妥当であるならば、3種類の認知負荷それぞれについて仮説を立てられる。

仮説1:学習関連負荷に関連する教示要因を操作した場合、オセロの作戦を発見しようとするメタ認知プロセスが活性化するため、1手あたりの平均時間が増加すると考えられる。ゆえに、教示要因の主効果が確認されると予想できる。

仮説2:課題内在性負荷に関連する支援要因を操作した場合、支援を行うことで知覚・処理・遂行の各プロセスの負荷が軽減される。そのため支援要因の主効果が確認できると予想できる。

仮説3:課題外在性負荷に関連する盤面要因を操作した場合、課題外在性負荷が負荷を与えると想定する知覚プロセスに割り当てると増加すると考えられる。しかし、支援がある場合は支援により知覚プロセスにおける負荷が軽減されている。よって、支援なしの場合にのみ盤面要因の効果が観察される

と考えられる。すなわち、盤面要因と支援要因の交互作用が有意となり、その上で、支援なし水準における盤面要因の単純主効果が確認できると予想できる。

4. 実験1

目的

前述の3つの仮説を検証し、第3章で提案した問題解決モデルの有効性を確認することを目的として実験を行った。

方法

大学生および大学院生計40名が一斉に実験に参加した。参加者は練習として1ゲームを行った後、実験群ごとに設定を調整したオセロ課題に10ゲーム取り組んだ。32手まで進んでいる盤面を初期盤面とした。初期盤面はオセロプログラム同士を対戦させ、最終的にはほぼ同じ程度のスコアとなった盤面を10種類算出し、ランダムに設定した。

盤面要因に関しては、参加者内要因とし、10ゲームのうち、奇数回目は通常盤面、偶数回目は白黒盤面を設定した。

支援要因と教示要因に関しては、参加者間要因とし、「支援なし・教示なし群」「支援なし・教示あり群」「支援あり・教示なし群」「支援あり・教示あり群」の4条件を設け、支援の有無と教示の有無を操作した。それぞれ11名、9名、10名、10名の参加者を割り当てた。支援ありの2群では、最善手の情報を提供する。教示ありの2群では、実験の最初に「この目的は、どうしたら相手に勝てるかの「作戦」(手の打ち方)を発見すること。後でアンケートを行う」と教示を行った。実験後、全群にアンケートを行った。

結果

図4に、1手あたりの平均時間を示す。1手あたりの平均時間を従属変数とし、教示要因、支援要因、盤面要因を独立変数とする3要因混合計画の分散分析を行った。1手あたりの平均時間は、実験を通しての平均を用いた。

その結果、教示要因の主効果が有意であり($F(1,36)=27.23, p<.01$)、支援要因の主効果が有意であった($F(1,36)=46.77, p<.01$)。盤面要因の主効果は有意ではなかった($F(1,36)=0.90, n.s.$)。

支援要因と教示要因の交互作用、および教示要因と盤面要因の交互作用は有意ではなかった(支援要因と教示要因の交互作用： $F(1,36)=0.05, n.s.$ 、教示要因と盤面要因の交互作用： $F(1,36)=0.48, n.s.$)。支援要

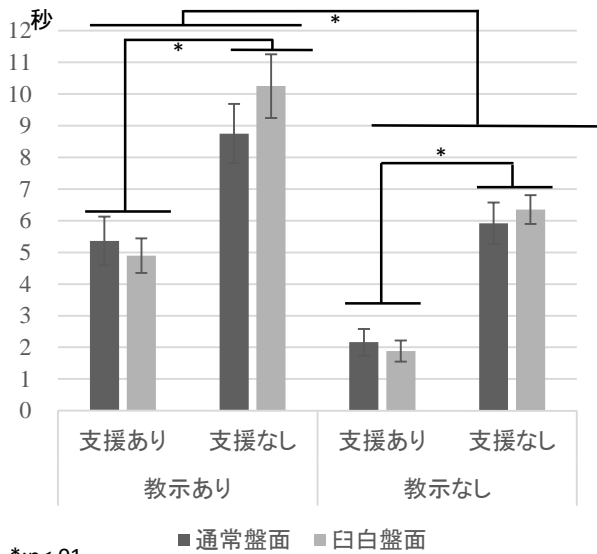


図4 1手あたりの平均時間

因と盤面要因の交互作用が有意であった ($F(1,36)=4.55, p<.05$)。修正 Bonferroni の方法で下位検定を行うと、通常盤面水準と白白盤面水準において支援要因の単純主効果が有意であった(通常盤面水準： $F(1,36)=22.93, p<.01$ 、白白盤面水準： $F(1,36)=58.83, p<.01$)。支援なし水準と支援あり水準において盤面要因の主効果は有意ではなかった(支援なし水準： $F(1,18)=2.72, n.s.$ 、支援あり水準： $F(1,18)=2.65, n.s.$)。

考察

教示要因の主効果があったことから仮説1を、支援要因の主効果があったことから仮説2をそれぞれ確認することができた。しかしながら、仮説3は確認することができず、盤面要因に関する有意差はなかった。5回の白白盤面のゲームを通して、白白盤面に参加者が慣れ、容易に「白」と「白」を区別できるようになったのではないかと考えられる。そこで、実験2では、さらに視認性が悪い盤面を作成し、実験を行った。

5.実験2

目的

実験2では、実験1で確認できなかった盤面要因について検討を行う。そのため、操作する要因は支援要因と盤面要因のみとし、仮説2および仮説3を検討する。

方法

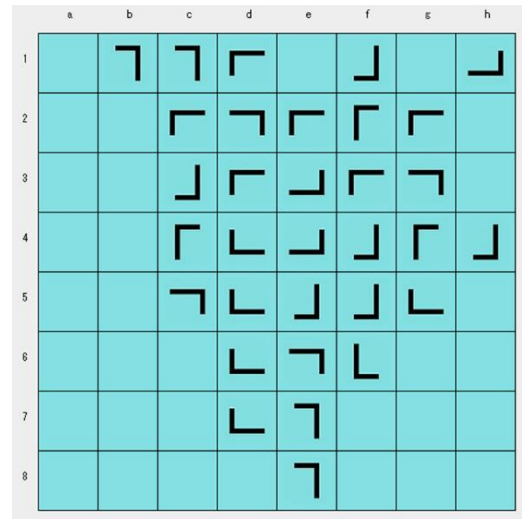


図5 L盤面の例

大学生45名が一斉に実験に参加した。手続きは実験1と同様に行った。ただし、教示要因は検討しないため、全員が「教示なし」で行った。実験条件は、「支援なし群」「支援あり群」の2条件を設定し、それぞれ22名、23名の参加者を割り当てた。実験2では、実験1の白白盤面に代わり、「L盤面」を用いた(図5)。L盤面では、参加者の石が「L」を90°ずつ回転した図形で表され、相手の石が「反転L」を90°ずつ回転した図形で表される。盤面を読み取るために心的回転の必要があり、そのための負荷が課題外在性負荷として生じると考えられる。

結果

図6に、1手あたりの平均時間を示す。1手あたり

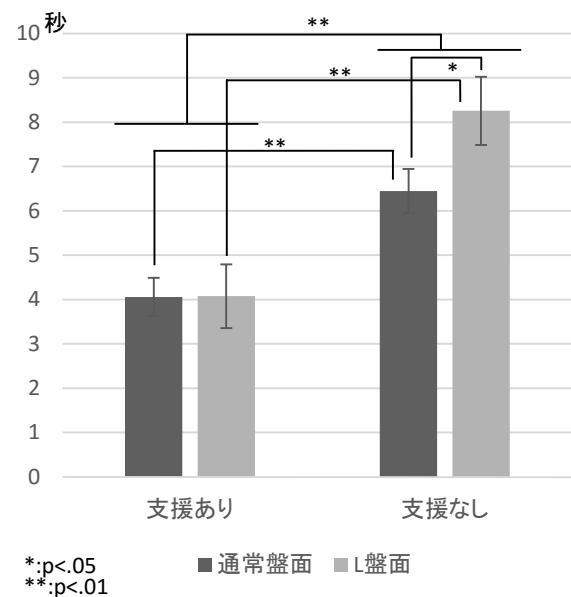


図6 1手あたりの平均時間

の平均時間を従属変数とし、支援要因と盤面要因を独立変数とする 2 要因混合計画の分散分析を行った。1 手あたりの平均時間は、実験を通しての平均を用いた。

その結果、支援要因の主効果と盤面要因の主効果が有意であった(支援要因： $F(1,43)=17.01, p<.01$ 、盤面要因： $F(1,43)=4.89, p<.05$)。

また、支援要因と盤面要因の交互作用が有意であった($F(1,43)=4.71, p<.05$)。修正 Bonferroni の方法で下位検定を行うと、通常盤面水準と白白盤面水準において支援要因の単純主効果が有意であり(通常盤面水準： $F(1,43)=12.65, p<.01$ 、白白盤面水準： $F(1,43)=15.08, p<.01$)、支援なし水準において盤面要因の単純主効果が有意であった($F(1,21)=7.99, p<.05$) が、支援あり水準において盤面要因の単純主効果は有意ではなかった($F(1,22)=0.00, n.s.$)。

考察

支援要因の主効果があったことから仮説 2 を、支援なし水準における盤面要因の単純主効果があったことから、仮説 3 を確認することができた。

6.まとめ

実験 1 および実験 2 を通して、仮説 1~3 を確認することができ、3 種類の認知負荷と、問題解決モデルの各プロセスとの関係が明らかになったと考える。

しかしながら、本研究に関しては課題が残る。学習関連負荷の指標は、前後にテストを行い、そのパフォーマンスで計測するのが一般的であるが、本実験では前後のテストを行っていない。また、従来から行われてきた主観評定など、反応時間以外の指標による認知負荷測定を行い、反応時間の信頼性を検証する必要がある。

今後は、本実験では参加者内要因とした課題内在性負荷も参加者間要因とし、3 種類の認知負荷を独立に操作し、それぞれの負荷が学習に及ぼす影響をプレテストとポストテスト間のパフォーマンスで計測する実験を行う。

謝辞

本研究の一部は公益財団法人中山隼雄科学技術文化財団の助成による。

参考文献

[1] Sweller, J.: Cognitive load during problem solving: Effects on learning, *Cognitive Science*, Vol.12, No.2, pp. 257-285 (1988)

[2] 三輪和久, 寺井仁, 松室美紀, 前東晃礼: 学習支援の提供と保留のジレンマ解消問題, *教育心理学研*

究, Vol.62, No.2, pp. 156-167 (2014)

[3] Cierniak, G., Scheiter, K., Gerjets, P.: Explaining the split-attention effect: Is the reduction of extraneous cognitive load accompanied by an increase in germane cognitive load?, *Computers in Human Behavior*, Vol.25, No.2, pp. 315-324 (2009)

[4] DeLeeuw, K. E., Mayer, R. E.: A comparison of three measures of cognitive load: Evidence for separable measures of intrinsic, extraneous, and germane load, *Journal of Educational Psychology*, Vol.100, No.1, pp. 223-234 (2008)

[5] Galy, E., Cariou, M., Melan, C.: What is the relationship between mental workload factors and cognitive load types?, *International Journal of Psychophysiology*, Vol.83, No.3, pp. 269-275 (2012)

[6] Naismith, L. M., Cheung, J. J., Ringsted, C., Cavalcanti, R. B.: Limitations of subjective cognitive load measures in simulation-based procedural training, *Medical Education*, Vol.49, No.8, pp. 805-814 (2015)

[7] Haji, F. A., Rojas, D., Childs, R., Ribaupierre, S., Dubrowski, A.: Measuring cognitive load: performance, mental effort and simulation task complexity, *Medical Education*, Vol.49, No.8, pp. 815-827 (2015)

[8] 水野陽介, 三輪和久, 寺井仁: オセロ課題を用いたアシスタンスジレンマの実験的検討, *第73回先進的学習科学と工学研究会資料*, Vol.B4, No.3, pp.51-55 (2015)

[9] Miwa, K., Kojima, K., Terai, H.: An experimental investigation on learning activities inhibition hypothesis in cognitive disuse atrophy, *In Proceedings of the Seventh International Conference on Advanced Cognitive Technologies and Applications (Cognitive 2015)*, pp.66-71 (2015)

[10] Miwa, K., Kojima, K., Terai, H., Mizuno, Y.: Measuring Cognitive Loads Based on the Mental Chronometry Paradigm, *Cognitive 2016* (in press)