

機関番号：32601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K00214

研究課題名(和文) 強化学習モデルを用いた、潜在学習中の知識獲得プロセスの検討

研究課題名(英文) Investigation of knowledge acquisition process during implicit learning task using reinforcement learning models

研究代表者

薬師神 玲子 (Yakushijin, Reiko)

青山学院大学・教育人間科学部・教授

研究者番号：30302441

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：日常生活やスポーツ等で必要な技能を獲得する過程の解明および学習促進法の開発は古くから心理学の大きなテーマである。本研究では、成績の量的基準として強化学習エージェントを採用することにより、知覚マッチング学習における潜在過程と顕在過程の関係について検討した。その結果(1)課題についての知識が顕在化される際には、単純化された課題構造の表現とヒューリスティックに分割されること(2)課題構造の表現の意識化は、必ずしも潜在的な知識蓄積量に関連しないこと(3)課題構造型アドバイスは、行為選択のパリエーションを広げることを通じて課題遂行を促進することなどが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の学術的意義の一つ目は、潜在的な学習過程の解明に新たな研究手法を導入するという点である。機械学習分野で開発された強化学習エージェントを課題成績の量的評価基準として導入することで、潜在的な知識蓄積の推定など、これまで量的な検討が難しかった切り口での検討が可能となった。

二つ目は、学習における潜在過程と顕在過程の關係に着目し、特に外部からアドバイスの形で顕在知識を導入した際にその知識がどのような形で、学習者自身が経験を通して獲得する潜在的および顕在的知識に影響を与え、また統合されるのかを検討した点である。これにより得られた知見は、効果的な訓練法の提案につながると期待できる。

研究成果の概要(英文)：Understanding the skill acquisition process and developing the effective way to help the skill acquisition has been one of the big issues in psychology. In this study, we adopt reinforcement learning agent as a benchmark for human performance in perceptual matching tasks, which make it possible to investigate qualitatively the relationship between learner's overt and covert knowledge about the task. The results indicated that (1) the overt knowledge about the task was divided into the representation of task structure and heuristics, (2) the timing that the knowledge about the task became overt did not necessarily relate to the amount of covert knowledge, and (3) the simplified task structure as an advice promoted the learner's performance through increasing the action variation.

研究分野：認知心理学

キーワード：技能学習 知覚-運動学習 強化学習 知覚マッチング 潜在学習 知識獲得

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

日常生活や仕事、スポーツ等で必要な様々な技能を獲得する過程の解明および学習促進(訓練)法の開発は古くから心理学の大きなテーマであり、近年でも潜在学習や状況的学習の概念の下で様々な研究が行われている。訓練の過程で生じる学習は知覚 - 運動学習といわれ、ここでは事前知識がほぼ無い状態から試行錯誤を通じて行動が洗練されていくが、その過程ではまず無意識に課題に関わる知識が蓄積され、それが意識化されることが指摘されている (Frensch & Ruenger, 2003)。しかしながら、知識獲得における潜在過程と顕在過程の関係を量的に調べる方法は確立されておらず、研究開始当初においては質的な指摘にとどまっていた。

潜在過程においてどのような知識が獲得されたか調べるには課題遂行成績を利用する以外無いが、課題遂行成績は刺激や課題の設定によって変わるため、その評価には何らかの量的基準との比較が必要である。認知研究では、成績評価に量的基準を用いる方法として、信号検出理論の下での理想的観察者分析が1960年代から導入されてきた。この文脈での量的基準は理想的観察者と呼ばれ、ある仮説の下で環境内の利用し得る情報全てを用いて課題遂行を行う計算モデルのことで、その成績は人間の課題成績のとり得る上限といえる。この理想的観察者の成績を基準として実験結果を分析することで、設定した仮説の妥当性の検証の強力な材料が得られる(例えば、人間の成績が理想的観察者の成績を超えれば、設定した仮説が誤りだという証拠になる)。この方法は知覚学習(Yakushijin, 2007; Trenti, Barraza & Eckstein, 2010)を含む多くの課題の検討に適用されている。それ以外の文脈においても、定量モデルを用いた成績評価は意思決定の研究等でも利用されているが、知覚以外の学習や技能獲得の領域では、本研究開始当初においてごく少数の例にとどまっていた (Anglim & Wynton, 2015; Doshi-Velez & Ghahramani, 2011; Frank & Tenenbaum, 2010など)。

2. 研究の目的

本研究の目的は、成績の量的基準(理想的学習者)として機械学習分野で開発されてきた強化学習エージェントを採用することにより、知覚 - 運動学習に類する課題である知覚マッチング学習過程における潜在過程と顕在過程の関係について検討することであった。知覚マッチング課題は、例えば「美しい飛び込みフォームを身につける」「複数の部品を隙間無く組み立てる」「木を狙った形に切り出す」といった知覚 - 運動学習の運動調整機能を単純化した課題として捉えることができる。

強化学習エージェントは、強化(報酬)に基づく行動変容を基礎として立てられた計算モデルであり、明確な目的の達成へと向かう知覚 - 運動学習並びに知覚マッチング課題の成績基準としては、他の定量的学習エージェントよりも適していると考えられる。本研究では、意識化前後に獲得される知識の蓄積量を、強化学習エージェントの成績に照らして評価し、知覚 - 運動学習を単純化した知覚マッチング学習過程における潜在過程と顕在過程の相互作用を検討した。具体的には、特に意識化に従って潜在的な知識獲得にどのような変化が生じるか、また、意識的なアドバイスが獲得される知識に与える影響について明らかにした。

3. 研究の方法

本研究の一連の実験で用いた主たる課題は、Yakushijin & Jacobs(2009)で用いられた知覚マッチング課題を踏襲したものである。この課題では、操作形状と目標形状の2つが画面に提示される。操作形状はボタン操作によって形状が変化するようになっており、実験参加者はこれを、与えられたゴール形状と同一形状へと変化させるよう求められた。なお、用いる形状は

Supershapes(Gielis,2003)とよばれる数式に基づいて作成されており、ボタン操作とこの数式のパラメーターの関係性を変えることによって、課題の難易度や特性を変化させることができる(図1)。このボタン操作とパラメーターの関係は参加者には知らされておらず、課題を進めながら学習することが想定される。



図1 知覚マッチング課題の刺激例(左)と ボタン操作と背後にある構造の関係(右)

意識化される知識は、一定試行遂行毎に図2のようなテストを用いて検討した。このテストでは、与えられた刺激が、各ボタンを押すことによって変化する形を見つけ、併せて確信度を記入した。確信度によって重みづけられた図形平均をとることにより、形状変化とボタン操作の関係についての画像的な知識を推定した。また、併せて、試行中にどのようなことを考えながら課題を遂行していたかを言語で書き出してもらうことによって、課題遂行方略についての知識も記録した。

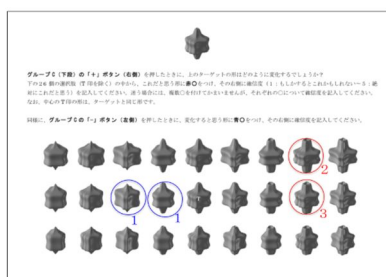


図2 顕在知識テストと回答例(一部)

使用する強化学習エージェントは、各ボタンと画像パラメーターとの相関関係についての知識を蓄積するニューラルネットワークを課題世界のモデルとして持つモデルベースのQ学習エージェントを基本として構築した。

4. 研究成果

(1) 課題背後にある因果関係と課題遂行および意識化の関係

知覚マッチング課題において、ボタン操作に対応する形状ユニット間の因果構造(図1右)の複雑さについて複数条件を設定し、このときの意識的な知識の推移を詳細に検討した。その結果、課題についての知識が顕在化される際には、不完全かつ単純化された課題構造の表現と、課題遂行手順(ヒューリスティック)に分割されることがわかった。ただし、この意識化、課題構造の表現の意識化の過程は、必ずしも潜在的な知識蓄積量と一致するものではない。すなわち、特に課題構造の表現と実際の課題構造との一致度が高い実験設定において成績効率が低いということはない(図3)。

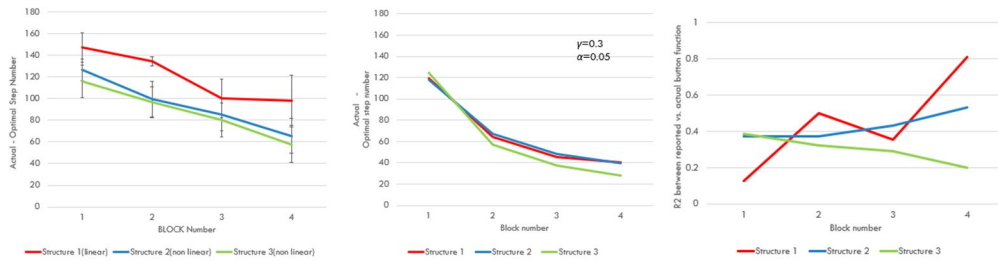


図3 課題背後の構造による人間の成績推移の違い(左)と強化学習エージェントの成績推移(中)、および顕在知識の正確性推移(右)

(2) 外部知識の利用と遂行成績および知識顕在化の関係

(1)の結果に基づいて、先に学習した人のアドバイスとして3種の知識(課題構造型・ヒューリスティック型・混合型)を与えた場合に、その後の学習にどのような影響を与えるかを検討した。その結果、ヒューリスティック型(アドバイス1)ではパフォーマンスの向上は早いが途中で頭打ちになること、また、独自の知識の獲得が見られにくいことがわかった。課題構造型(アドバイス2)では、初期のパフォーマンス向上速度はヒューリスティックと変わらないが、その後、ヒューリスティック型よりも高い成績に至る学習曲線が見られること、独自の課題構造の理解や、ヒューリスティック開発が見られることがわかった。混合型(課題構造・ヒューリスティックとも不完全な情報の混合)(アドバイス3)では、アドバイスを与えない条件よりも、遂行成績が落ちる、つまり、パフォーマンスの妨害が生じた(図4)。各型の外部知識を課題世界についての事前知識として組み込んだ強化学習エージェントを構築し、その成績推移と人間の成績推移を比較したところ、ヒューリスティック型の成績推移は強化学習エージェントの動きに合致するものであったが、課題構造型の成績推移は強化学習エージェントよりも立ち上がりが遅かった。単純混合型のエージェントは、学習は遅いものの、妨害までは生じなかった。課題構造型に見られる初期成績向上の遅延と混合型に見られるパフォーマンスの妨害は、知識型の外部知識は学習者の潜在知識の向上の促進にはつながらないこと、潜在・顕在問わず、獲得された知識とは分離された形で保存されることを示唆している。

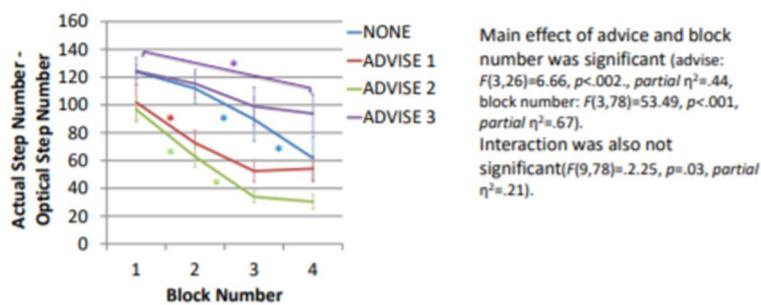


図4 アドバイスの型と成績推移の関係

(3) 知識の顕在化のタイミング

外部からのアドバイスを与えるタイミングを変えた群を設定して、成績の変化を見る実験を行った。その結果、特にヒューリスティック型のアドバイスについては、与える時期が早い方が最終的なパフォーマンスの阻害が大きいことがわかった。課題構造型のアドバイスは、初期から中期に与えることで最終パフォーマンスに正の影響が見られることがわかった。ヒューリスティック型の参加者では他の条件に比べて選択肢のバリエーションが少なかった。強化学習エージェントにこの状況を模す制約を与えたところ、実験結果と同様に最終的なパフォーマンス

スの障害および蓄積される知識の定型化が生じた。すなわち、選択肢の限定が実験結果を説明することが明らかにされた。これに対して、課題構造型のアドバイスでは、学習段階のどの段階でアドバイスを与えても行動パターンの増加は生じており、これを模した強化学習エージェントの成績では最終段階におけるパフォーマンス間に違いは見られなかった。また、構造型アドバイス条件の成績を説明するためには、自分の行動の蓄積から得られる知識とは別の知識ユニットを想定したエージェントが必要であることが改めて確認された。

(4) 日常生活における知覚マッチング課題に近い課題の開発

今回用いた研究では、モデル構築のしやすさにより、離散的な入力により人工的な形状が変化する知覚マッチング課題を中心に実施した。研究の発展のためには、より現実の知覚 - 運動学習状況に近い課題が必要となるため、VRを用いた生け花学習ツールであるTrackKenzan(横窪ら, 2018)の学習評価並びに、連続型入力デバイスを使用した運動制御マッチング課題の開発を行い、いずれもより自然な文脈での知覚マッチング課題として参加者に認識されること、また、強化学習エージェントの構築と成績比較に必要な連続値としての入力値の取得とそれに伴う刺激値変化の取得が可能であること、ただしそれには3D位置についての制約導入が必要であり、これは人間が用いている制約を特定してモデルに組み込むことが課題であることが確認された。

<引用文献>

- Anglim, J., & Wynton, S. K. A. (2015). Hierarchical Bayesian models of subtask learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 41(4), 957-974.
- Doshi-Velez, F. & Ghahramani, Z. (2011). A comparison of human and agent reinforcement learning in partially observable domains. *Proceedings of the Annual Meeting of the Cognitive Science Society*, 33(33), 2703-2708.
- Frank, Michael C., Sharon Goldwater, Thomas L. Griffiths, and Joshua B. Tenenbaum. (2010). Modeling human performance in statistical word segmentation. *Cognition*, 117(2), 107- 125.
- Frensch, P. A., & Ruenger, D. (2003). Implicit learning. *Current Directions in Psychological Science*, 12, 13-18.
- Gielis, J. (2003). A generic geometric transformation that unifies a wide range of natural and abstract shapes. *American Journal of Botany*, 90(3), 333-338.
- Trenti, E. J., Barraza, J. R. & Eckstein, M. P. (2010). Learning motion: Human vs. optimal Bayesian learner, 50(4), 460-472.
- Yakushijin, R. (2007) Independence of sampling of motion parallax and binocular disparity in discrimination of depth. *Japanese Psychological Research*, 49(4), 248-260.
- Yakushijin, R. & Jacobs, A. R. (2009) Are people successful at learning sequences of action on perceptual matching task? *Cognitive Science*, 35(5), 939-962.
- 横窪杏奈・加藤祐二・椎尾一郎 (2018) TrackKenzan:トラックパッドとタッチペンを用いた生け花システム. 日本ソフトウェア科学会 インタラクティブシステムとソフトウェア研究会.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 横窪杏奈・加藤祐二・薬師神玲子・椎尾一郎	4. 巻 60
2. 論文標題 TracKenzan:トラックパッドとタッチペンを用いたいけばな練習システムの提案と評価	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 情報処理学会論文誌	6. 最初と最後の頁 2006-2018
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Yakushijin, R.
2. 発表標題 Does imperfect explicit knowledge on perceptual-matching task provided by others accelerate one's knowledge on the task?
3. 学会等名 59th Annual Meeting of Psychonomic Society (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Reiko Yakushijin
2. 発表標題 Implicit and Explicit Knowledge Acquisition in Perceptual Matching Task.
3. 学会等名 The 58th Annual Meeting of the Psychonomic Society (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 薬師神玲子・上田祥代・石口彰
2. 発表標題 操作 - 応答系の分散識別特性の検討: マウス操作と軌跡表示の場合
3. 学会等名 日本基礎心理学会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----