

系列学習における顕在的知識が転移に与える影響： 知識の直接的教示と自発的発見の差異

田中 観自[†], 渡邊 克巳[†]
Kanji Tanaka, Katsumi Watanabe

[†] 東京大学 先端科学技術研究センター
The University of Tokyo, Research Center for Advanced Science and Technology
kanji@fennel.rcast.u-tokyo.ac.jp

1. はじめに

タイピングや車の運転などの連続的な動作を伴う学習は、系列学習と呼ばれており、我々の日常生活には不可欠な認知行動である。そして、これらに関する学習/転移の方法は大きく分類して3種類あり、知識の直接的な教示による顕在的学習、知識の自発的発見による顕在的学習、そして意識には上らない潜在的学習が考えられる。特に、知識の直接的教示と自発的発見による学習および転移は、得られる知識は同じかもしれないが、その過程が異なるので学習や転移に与える影響は異なるかもしれない。例えば、児童教育に関する先行研究では、児童に対して知識を直接的に教示する場合と知識の自発的発見を促した場合で、学習効果や後の転移に与える影響が異なるのかどうかを検討している。しかしながら、結果は実験条件などによって異なっており、その影響については現在も議論中である(e.g., Klahr & Nigam, 2004; Dean JR & Kuhn, 2006)。このように、知識を得る過程の違いが学習や転移に与える影響を検討することは社会的・学術的にも重要であるが、未だに実験室レベルにおいて検討されている研究は少なく、本研究では、系列学習課題において、知識の直接的教示と自発的発見が転移課題に与える影響について検討した。

2. 方法

2.1. 参加者

本研究には、大学生または大学院生 85 名が参加した。すべての参加者は健常であり、実験遂行にお

いて必要な視力および運動機能があることを確認した。

2.2. 刺激と手順

実験では、視覚運動系列学習課題(Hikosaka et al., 1995)を採用し、両辺 1cm のボタンが 8mm 間隔で 4×4 のマス目上 (16 個) に配置されている装置を使用した。課題中、16 個のうち 3 個のボタンが同時に赤く点灯しており、これらには押すべき正解のルートが事前に設定された。この点灯している 3 つのボタンの組み合わせを、実験では 7 パターン用意することで、学習系列を構成した (図 1)。参加者は、点灯しているボタンの押す順番を試行錯誤しながら学習し、最初のパターンから 7 パターン目までを連続で正解することが求められた。途中で間違えた場合は、最初のパターンからやり直した。そして、系列の最後のパターンまで一度成功すると、再び最初のパターンに戻り、同じ系列を合計 20 回成功することが求められた。なお、参加者は、課題をできるだけ速く正確に遂行するように教示された。

学習課題を完遂したのちに、実験参加者は転移課題としてもう一つ別の系列を遂行した。転移課題では、学習課題で使用した系列の時間的構造を反転させた系列を採用した (図 1 ; 点灯するボタンの位置は変わらないが、正解のルートが逆転される)。そして、実験参加者が転移課題を行うときに、教示群 (N = 28) と非教示群 (N = 57) に分類し、教示群では、転移課題を始める前に、「次の課題は、先ほど学習した系列の時間的構造を反転しています」と教示し、非教示群では、「次の

課題は、ランダムに生成された系列です」と教示し、学習課題と同様に合計 20 回の成功を求めた。

データとしては、課題の遂行中に押し間違えた回数（エラー回数）と、試行が成功したときに最初のパターンから最後のパターンが終了するまでにかかった時間を計測した。そして、20 回の成功試行を 5 つの成功試行区分に分割し（1-4, 5-8, 9-12, 13-16, 17-20 試行），それぞれの区分でのエラー回数と平均達成時間を算出した。例えば、13—16 試行区分のエラー回数は、13 回成功してから 16 回成功するまでの試行における間違えた試行回数を意味している。そして、転移課題が終了したあとに、非教示群の参加者に対して、課題を遂行していたときに系列の時間的反転に気付いていたかどうかを尋ね、気付いていた参加者を発見群、気付かなかった参加者を非発見群として分類した。

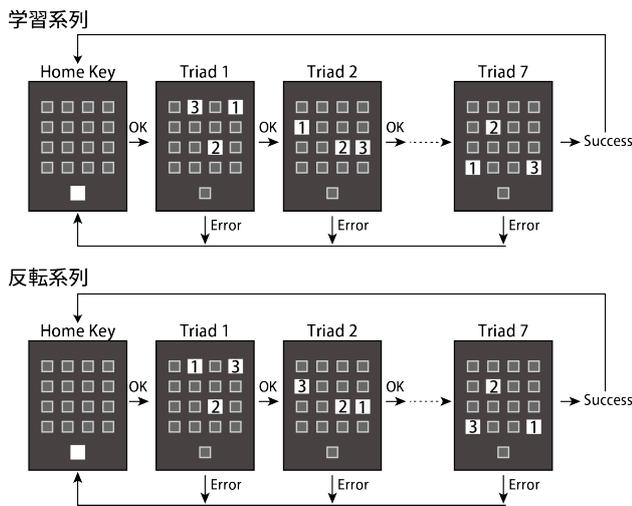


図 1. 実験で使用した系列. すべての参加者は初めに学習系列を学習し、その後、反転系列を学習した。

3. 結果

まずインタビューの結果、非教示群 (N = 57) は、発見群 (N = 32) と非発見群 (N = 25) に分類した。これらに教示群 (N = 28) を加えて、3 群の課題成績がどのように異なるのかを検討した。

3.1. 学習課題

まず、エラー回数と平均達成時間の両方のデータに対して、実験群（教示群、発見群、非発見

群）と成功試行区分（1-4, 5-8, 9-12, 13-16, 17-20 試行）を変数とした二元配置分散分析をそれぞれ行った。その結果、エラー回数と平均達成時間の両方において実験群の主効果は見られず ($F_s(4, 316) > 74.47, p_s < 0.0001, \eta_p^2 > 0.49$)、これは学習課題時の成績は実験群で差がないことを示唆している。次に、エラー回数と平均達成時間の両方において、成功試行区分の主効果が確認され ($F_s(2, 79) < 1.02, p_s > 0.36, \eta_p^2 < 0.025$; 図 2a, 2b)、これは成功を重ねていくごとに速度や精度が向上していることを示唆する結果である。また、実験群と成功試行区分において、交互作用は見られなかった ($F_s(8, 316) < 0.59, p_s > 0.78, \eta_p^2 < 0.015$)。

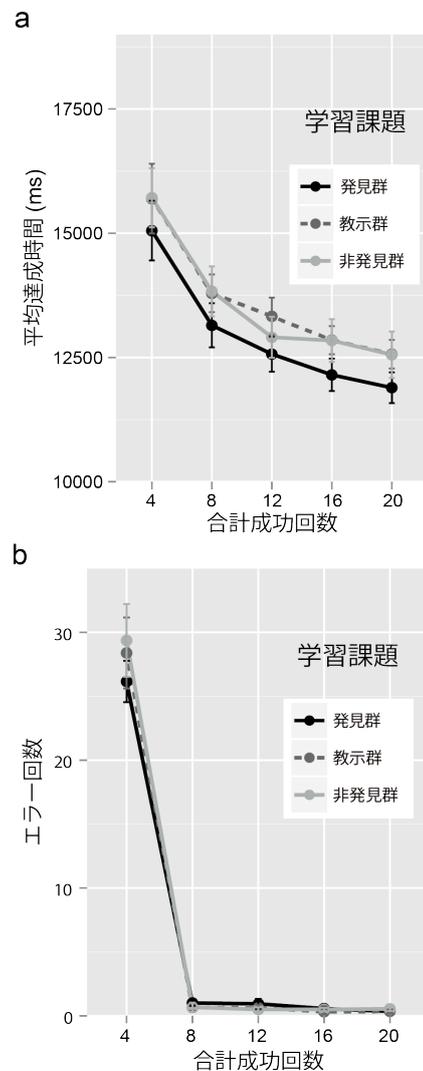


図 2. 学習課題の結果. エラーバーは平均の標準誤差を示している。(a)成功試行時における平均達成時間。(b)成功するまでに生じたエラー回数。

3.2. 転移課題

ここでは転移課題の成績を比較検討した。平均達成時間に対して、実験群と成功試行区分を変数とした二元配置分散分析を行ったところ、実験群の主効果を確認した ($F(2, 79) = 4.66, p < 0.05, \eta_p^2 = 0.11$; 図 3a)。下位検定の結果、教示群の平均達成時間は (14,307 ms)、発見群(13,171 ms)と非発見群(12,587 ms)よりも遅いことが明らかとなった ($ps < 0.05$)。また学習課題と同様に、成功試行区分の主効果を確認し ($F(4, 316) = 2.07, p < 0.0001, \eta_p^2 = 0.65$)、下位検定の結果、成功試行を重ねるごとに速度が速くなっていくことが明らかになった(1-4 回, 16,330 ms; 5-8 回, 13,575 ms; 9-12 回, 12,666 ms; 13-16 回, 12182ms; 17-20 回, 12,022 ms)。

次に、エラー回数に対して、実験群と成功試行区分を変数とした二元配置分散分析を行ったところ、実験群の主効果を確認した ($F(2, 79) = 60.46, p < 0.0001, \eta_p^2 = 0.60$; 図 3b)。下位検定の結果、教示群(3.07 回)と発見群(6.31 回)のエラー回数は、非発見群のエラー回数に比べて少ないことが示されたが(21.83 times; $ps < 0.001$)、教示群と発見群の間に有意差は見られなかった ($p = 0.061$)。また、成功試行区分の主効果も確認された ($F(4, 316) = 164.48, p < 0.0001, \eta_p^2 = 0.67$)。下位検定の結果、1-4 回の成功試行区分のエラー回数は(8.79 回)、残りの区分に比べて多いことが分かった(5-8 回, 0.37 回; 9-12 回, 0.48 回; 13-16 回, 0.43 回; 17-20 回, 0.31 回; $ps < 0.01$)。さらに、実験群と成功試行区分の交互作用も明らかとなり ($F(8, 3169) = 64.54, p < 0.0001, \eta_p^2 = 0.62$)、これは 1-4 回の成功試行区分において、教示群(1.69 回)、発見群(5.03 回)、非発見群(19.67 回)のエラー回数が有意に異なることが示された ($ps < 0.05$)。

3.3. 転移課題における速度と精度の関係性

転移課題の平均達成時間において、教示群(14,307 ms)は発見群(13,171 ms)よりも遅いことが明らかになった一方で、エラー回数においては、両群に

差がないことが示された (発見群, 6.31 回; 教示群, 3.07 回)。

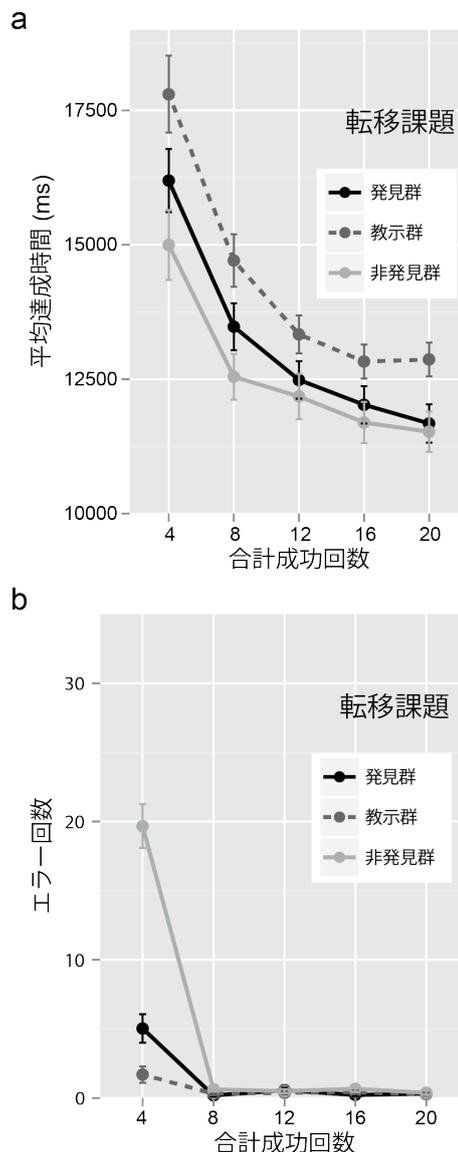


図3. 転移課題の結果。エラーバーは平均の標準誤差を示している。(a)成功試行時における平均達成時間。(b)成功するまでに生じたエラー回数。

そこで、転移課題における平均達成時間とエラー回数の関係性を検討するために、各実験群のデータに対して相関分析を行ったところ (図 4, 次頁)、すべての群において有意な相関関係は見られなかった(発見群: $t(30) = -0.74, p = 0.46, r = -0.13$; 非発見群: $t(22) = 1.71, p = 0.10, r = 0.34$; 教示群: $t(24) = -0.29, p = 0.77, r = -0.06$; 図 4)。これは、合計エラー回数の多さが速い達成時間を生み出しているとは言えないことを示し

ており、系列操作の速度と精度に関する並行的な認知処理を示唆している (Hikosaka et al., 1999).

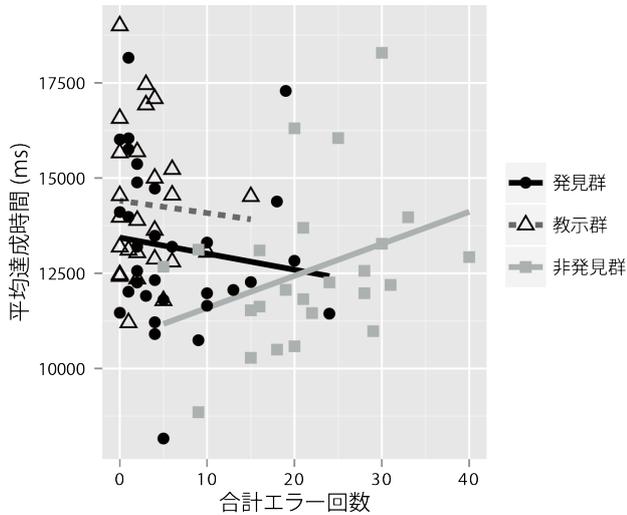


図 4. 転移課題時における合計エラー回数と平均達成時間の関係性. 直線は各群における回帰直線を示す.

4. 考察

本研究では、知識の獲得方法が視覚運動系列学習の転移に与える影響について検討した. その結果、(1) 転移規則に関する顕在的な知識は、知識の獲得方法に関係なく、転移課題時のエラー回数を著しく減少させる (発見群, 6.31 回; 教示群, 3.07 回; 非発見群, 21.83 回), (2) 転移課題時の合計エラー回数に関して、教示群と発見群で有意差は見られなかった, (3) 転移課題時の平均達成時間に関して、発見群(13,171 ms)と非発見群で有意差は見られなかったが(12,587 ms), (4) 教示群(14,307 ms)の平均達成時間は発見群よりも遅いことが明らかになった, (5) 転移課題時のエラー回数の多さは、速い達成時間に結びついていないことを明らかにした. これらの結果をまとめると、転移規則に関する顕在的な知識は、知識の獲得方法に関係なく、転移課題時のエラー回数を少なくさせる. 一方で、顕在的な知識は達成時間を遅くさせる可能性があり、特に教示によって得られた知識は速度の干渉を生んでいる可能性が高いことが示唆された.

Hikosaka et al. (1999)は、系列学習に関するモデルを提案しており、そのモデルによると、人

は系列に関する空間的な表象と運動表象を半ば独立して学習している. ボタン配置の学習などが関係している空間表象は、主に初期に学習され、効果器とは独立した学習 (effector-independent learning) であることが知られており、どのようにボタンを押すのかという運動表象は、主に後半で学習され、効果器に依存した学習 (effector-dependent learning) であることが知られている. つまり、人は効果器に依存した表象と独立した表象を平行に学習しながらも、それぞれの表象の発達は、異なる時間軸で行われていると言える (e.g., Bapi et al., 2000, 2006).

本研究では、転移課題において転移規則に関する顕在的な知識を得た実験参加者は、顕在的な知識を得なかった参加者に比べて、エラー回数が少なかった. つまり、転移規則に関する顕在的な知識は、効果器とは独立した学習 (ボタン配置などの空間的な表象の学習) を促進させることを示唆している. また、規則を発見した群と規則を発見出来なかった群では、平均達成速度に有意差は見られなかった. これは、転移規則に関する顕在的な知識は、効果器に依存した学習 (ボタンをどのように押すのかといった運動表象の学習) を促進するには至らないことを示唆している. これらは、本研究課題と同様の課題を用いた Watanabe et al. (2006) と一致しており、Watanabe et al. (2006) は、学習課題と転移課題の間で系列を 90, 180, 270 度のいずれか回転させ、その規則に気づいた参加者と気づかなかった参加者を比較した. その結果、気づいた参加者は、少ないエラー回数で課題を達成できたが、速度に関しては規則に気づかなかった参加者と有意に変わらなかった. つまり、ここまでをまとめると、顕在的な知識は系列操作におけるエラー回数を減少させるが、操作時間を短縮することはできないと考えられる.

そして本研究における最も驚くべき知見は、教示によって顕在的な知識を得た実験参加者の系列操作速度が、自発的な発見によって知識を得た

参加者よりも遅かったことである。つまり、教示による顕在的知識は、操作時間の短縮を妨害していることを示唆している。Watanabe et al. (2006)が述べているように、顕在的知識が操作時間の短縮に貢献しないということを仮定するならば、本研究で得られた結果のもっともらしい解釈は、教示によって得られた顕在的知識は、運動表象の学習である効果器依存の学習に到達するまでの認知処理が遅くなっているということである。言い換えるならば、教示による顕在的知識は、効果器とは独立した学習により長い時間を必要とし、本研究で使用した教示によって得られた顕在的知識は、自発的に発見することで得られる顕在的知識に比べて認知負荷が高いことを示唆している。

参考文献

- [1] Bapi, R. S., Doya, K., & Harner, A. M. (2000). "Evidence for effector independent and dependent representations and their differential time course of acquisition during motor sequence learning". *Experimental Brain Research*, 132(2), 149–162.
- [2] Bapi, R. S., Miyapuram, K. P., Graydon, F. X., & Doya, K. (2006). "fMRI investigation of cortical and subcortical networks in the learning of abstract and effector-specific representations of motor sequences". *Neuroimage*, 32(2), 714–727.
- [3] Dean JR, D., & Kuhn, D. (2007). "Direct instruction vs. discovery: The long view". *Science Education*, 91(3), 384-397.
- [4] Hikosaka, O., Nakahara, H., Rand, M. K., Sakai, K., Lu, X., Nakamura, K., Miyachi, S., et al. (1999). "Parallel neural networks for learning sequential procedures". *Trends in Neurosciences*, 22(10), 464–471.
- [5] Hikosaka, O., Rand, M. K., Miyachi, S., & Miyashita, K. (1995). "Learning of sequential movements in the monkey: process of learning and retention of memory". *Journal of Neurophysiology*, 74, 1652-1661.
- [6] Klahr, D., & Nigam, M. (2004). "The equivalence of learning paths in early science instruction effects of direct instruction and discovery learning". *Psychological Science*, 15(10), 661-667.
- [7] Watanabe, K., Ikeda, H., Hikosaka, O. (2006). "Effects of explicit knowledge of workspace rotation in visuomotor sequence learning", *Experimental Brain Research*, 174, 673-678.