

反転を伴うトラッキング課題における学習の転移

Transfer of Learning in Inverted Tracking Tasks

小堀 聡[†], 阿部 陽祐[†]
Satoshi Kobori, Yosuke Abe

[†]龍谷大学工学部電子情報学科
Department of Electronics and Informatics, Ryukoku University
kobori@rins.ryukoku.ac.jp

Abstract

We have used inverted tracking tasks and studied the learning processes and transfer of learning. Inverted tracking trials were of 3 types, horizontal inversion, vertical inversion and bidirectional inversion. In inverted trials, the relation between joystick movement and target movement was inverted at an unpredictable time during the trial. This task requires learning a novel sensorimotor transformation. The results showed that subjects learned to adjust for the inverted trials, the tracking errors differed among 3 types of inversion, and both positive and negative transfers were found. These findings suggest that difficulties of task and orders of learning could be other factors which influenced transfer of learning.

Keywords — **Inverted tracking task, Sensorimotor transformation, Transfer of learning, Motor skill, Internal model**

1. はじめに

本研究では、運動課題として上肢トラッキング動作を用いて、試行の途中においてジョイスティックの操作方向とカーソルの移動方向との関係が反転する場合に、被験者がいかにその反転への対応を学習するかを調べる。このような課題は、新規の感覚運動変換[1, 2], すなわち、感覚・知覚系と運動系の新しい対応関係を学習することを要求する。

本稿では、反転を伴うトラッキング課題に対して被験者が学習すること、また、その制御成績は反転の種類によって異なることを示すとともに、先行学習が後行学習に影響を及ぼす、学習の転移[3, 4]は正と負がともに観察されることを確認する。そして、どのような場合に正と負の学習の転移が見られるかを分析することにより、学習の転移に関わる要因について考察する。

2. 実験

2.1 実験方法

トラッキング課題として、ディスプレイ上を動くターゲットをカーソルで追従する動作を行わせる。目標値を示すターゲットは直径 44 画素 (13mm) の円で、制御値を示すカーソルは一辺 44 画素 (13mm) の十字で表示される。ターゲットはあらかじめ作成、保存された目標値データに基づき、直径 500 画素 (148mm) の円周上で規則的な運動 (周期は 5 s) を繰り返す。一方、カーソルは、ジョイスティックで制御される [5]。

トラッキング課題には通常課題と反転課題がある。通常課題とはジョイスティックの操作方向とカーソルの移動方向が一致しているものである。一方、反転課題には、左右反転、上下反転、上下左右反転の 3 種類があり、ジョイスティックの操作方向とカーソルの移動方向の関係が、それぞれの方向において試行途中で反転する。

1 回の試行時間は 20s で、測定は通常課題で開始されるが、試行開始後 11.5s から 12.5s までの間のランダムな時刻に反転するように設定した。なお、一度反転するとその試行の終了まで反転の状態が続く。

ここでは 5 回の試行を 1 ブロックとし、実験は、テスト前ブロック、学習ブロック、テスト後ブロック、転移ブロックから構成される。テスト前ブロックとテスト後ブロックでは通常課題をそれぞれ 1 ブロックずつ、学習ブロックではそれぞれの反転課題を 6 ブロック、転移ブロックでは学習ブロックとは異なる反転課題を 2 ブロック実施した。

18 歳から 24 歳までの健常な大学生 60 名 (男性 30 名, 女性 30 名) を被験者とした。それらの被

験者を、左右反転、上下反転の順に行うA群、上下反転、左右反転の順に行うB群、左右反転、上下左右反転の順に行うC群、上下左右反転、左右反転の順に行うD群、上下反転、上下左右反転の順に行うE群、上下左右反転、上下反転の順に行うF群のそれぞれ10名ずつの実験群に分けて実験を実施した。この実験デザインにより、学習ブロックでの先行学習が転移ブロックでの後行学習にどのような影響を及ぼすかという学習の転移について調べることができる[4, 6]。

2.2 解析方法

制御成績を示す評価値として、反転後4s間の目標値と制御値との2次元平均絶対誤差(単位はmm)を算出する。

まず、反転の種類による違いを明らかにするため、学習ブロックの解析を行う。学習ブロックについては、A群とC群が左右反転、B群とE群が

上下反転、D群とF群が上下左右反転と同じ課題なので、それらをまとめて、それぞれ20名ずつの左右反転群、上下反転群、上下左右反転群とする。そして、評価値のブロックによる変化を表すために、これらの群別に平均と標準偏差を算出する。

次に、学習の転移について明らかにするため、先行学習のない学習ブロックを対照群とし、先行学習の影響を受けた転移ブロックを実験群とする。転移ブロックについても、それぞれ10名ずつのA群～F群において群別に平均と標準偏差を算出する。そして、対照群と実験群のデータを比較する。

3. 結果

3.1 反転の種類による違い

左右反転群、上下反転群、上下左右反転群について、2次元平均絶対誤差のブロックによる変化を学習曲線としてグラフに示した(図1)。

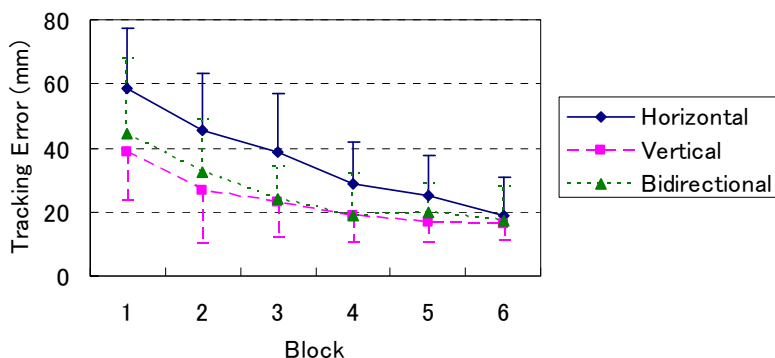


図1 学習曲線

(Horizontal: 左右反転群, Vertical: 上下反転群, Bidirectional: 上下左右反転群)

表1 学習の転移

対照群 (学習ブロック)	実験群 (転移ブロック)	t-value	p	転移の有無
左右反転 (A群+C群)	上下反転→左右反転 (B群)	-0.059	0.476	転移なし
	上下左右反転→左右反転 (D群)	1.327	0.095	正の転移傾向
上下反転 (B群+E群)	左右反転→上下反転 (A群)	-1.289	0.099	負の転移傾向
	上下左右反転→上下反転 (F群)	-1.698	0.047	負の転移
上下左右反転 (D群+F群)	左右反転→上下左右反転 (C群)	2.249	0.014	正の転移
	上下反転→上下左右反転 (E群)	-0.148	0.441	転移なし

この図より、各群とも明らかな学習効果が認められること、3つの実験群を比べると、学習の初期では、平均誤差増加値の大きさは、左右反転、上下左右反転、上下反転という順序であるが、第6ブロックではほとんど変わりはないこと、が分かる。このような反転の種類による違いは、課題自体の困難さと学習の相対的な困難さを示している。

なお、以上に関しては、t検定を用いて有意差検定を行った。その結果、左右反転群と上下反転群の間では、第1ブロックから第5ブロックまでにおいては危険率5%の水準で、左右反転群の値が上下反転群の値よりも有意に大きいこと、また、第6ブロックにおいては両者に有意差がないことが示された。一方、上下反転群と上下左右反転群の間では、すべてのブロックにおいて有意差がないことが示された[5]。

3.2 学習の転移

対照群と実験群のデータを比較するため、t検定による有意差検定を行い、その結果を表にまとめた(表1)。この表から、以下のことが分かる。

- (1) 左右反転の後の上下左右反転では、明確な正の転移が見られる ($p < 0.05$)。
- (2) 上下左右反転の後の左右反転では、正の転移の傾向が見られる ($p < 0.10$)。
- (3) 上下左右反転の後の上下反転では、明確な負の転移が見られる ($p < 0.05$)。
- (4) 左右反転の後の上下反転では、負の転移の傾向が見られる ($p < 0.10$)。

4. 考 察

実験結果より、先行学習と後行学習の組み合わせによって、正の転移と負の転移のどちらもものが明確に観察されることが分かった。しかも、その転移は一時的なものではなく、学習過程のある範囲で見られるものであった。このことは、特に負の転移について「運動技能課題で負の転移の実験的証拠を見つけることはかなり難しく、見つけられたとしても、しばしばはかないものである」という従来の報告[7]からすると大変興味深い結果

であるといえる。

さて、どのような場合に正や負の転移が見られるかについては、一般的な原則[3]として「正の転移は、2つの課題が類似した刺激事態への反応として、類似または同一の運動を含む時に最もみいだされやすい」とされ、「負の転移は、2つの課題が類似した刺激事態に対して拮抗的または両立不可能な反応を要求する時に最も観察されやすい」とされる。ここではまず、この原則が実験結果に当てはまるかどうかを検討する。

明確な正の転移は、左右反転の後の上下左右反転においてのみ見られ、有意傾向まで含めると、その逆の上下左右反転の後の左右反転でも正の転移の傾向が見られたが、これらの正の転移は、上下左右反転に含まれる左右反転の要素が「類似または同一の運動」となっていると解釈できる。

一方、明確な負の転移は、上下左右反転の後の上下反転においてのみ見られ、有意傾向まで含めると、左右反転の後の上下反転でも負の転移の傾向が見られたが、これらの負の転移は、上下左右反転に含まれる左右反転の要素もしくは左右反転それ自体が上下反転と「拮抗的または両立不可能」な関係になっていると解釈できる。しかし、それぞれの逆の順序において負の転移は見られず、このような転移の非対称性は、上記の原則だけでは説明できない。

以上の実験結果からは、どのような時に正または負の転移が観察されるかは、単に2つの運動が類似しているか拮抗しているかだけでなく、課題の難易度や学習の順序も影響すると推察される。

すなわち、正の転移および負の転移のどちらの場合も、より制御が困難な左右反転の要素が関わっていることに注目すべきである。

左右反転は制御の困難さゆえ、先行学習と後行学習に共通している場合は、正の転移が生じるので、対称性が見られたと考えられる。

一方、左右反転と上下反転は拮抗的であるといえるが、左右反転もしくは上下左右反転の後の上下反転について負の転移が観察されるのは、左右反転の要素の学習の痕跡[3]が強く残り、後の上下

反転に影響を及ぼすが、逆に、上下反転を先に学習する場合は、学習の痕跡があまり強くないために、後の左右反転もしくは上下左右反転に影響しないと考えられる。

5. おわりに

本研究では、被験者実験により、反転を伴うトラッキング動作を測定し、その学習過程を調べ、また、学習の転移について検討した。その結果、反転を伴うトラッキング課題に対して被験者が学習すること、また、その制御成績は反転の種類によって異なることを示すとともに、学習の転移は正と負がともに見られることを確認した。そして、学習の転移に関わる要因について検討した結果、従来より言われていた単に課題の類似や拮抗という点だけでなく、課題の難易度や学習の順序も転移に関係してくることが示唆された。

運動学習の分野において内部モデル[8,9]は近年重要になりつつある概念であるが、写像規則の獲得は内部モデルを学習する過程であるともいえ、学習の転移は複数の内部モデルの切り替えの問題[10]として考察できるであろう。本実験で観測された転移の現象は、エキスパート混合モデルでのゲートモジュールによる選択よりも、MOSAICモデルでの逆モデルの出力の調整の方が説明しやすいように思われる。

今後、本研究で示されたような感覚運動変換の学習における転移が、どのような理由で起きるのかについて、運動学習における内部モデルの形成やそのモジュール性との関係を踏まえて検討していく必要がある。

参考文献

- [1] 阪口 豊：知覚・運動協応，日本認知科学会（編）：認知科学辞典，共立出版，541（2002）。
- [2] McLeod, P.（半田 智久訳）：知覚運動協応，Eysenck, M. W. (Ed), 野島 久雄他訳：認知心理学事典，新曜社，261-266（1998）。
- [3] Mazur, J. E. (磯 博行訳)：運動技能の学習，メイザーの学習と行動（日本語版第2版），

二瓶社，311-312（1999）。

- [4] Schmidt, R. A. and Lee, T. D.: Retention and Transfer, Motor control and learning: a behavioral emphasis (3rd ed), Human Kinetics, 385-408 (1999).
- [5] 小堀 聡, 阿部 陽祐: 反転を伴うトラッキング課題の学習過程と瞳孔反応, 生体医工学, 45(1), 106-113 (2007).
- [6] 小堀 聡: 反転を伴うトラッキング課題における学習とその転移, 情報科学技術レターズ, 6, 295-298 (2007).
- [7] Blais, C., Kerr, R. and Hughes, K.: Negative Transfer or Cognitive Confusion, Human Performance, 6(3), 197-206 (1993).
- [8] Kobori, S., and Haggard, P.: Internal Models and Transfer of Learning in Pursuit Tracking Task, Proc of The European Cognitive Science Conference 2007, 498-503 (2007).
- [9] Imamizu, H., Miyauchi, S., Tamada, T., Sasaki, Y., Takino, R., Puetz, B., Yoshioka, T. and Kawato, M.: Human cerebellar activity reflecting an acquired internal model of a new tool, Nature, 403, 192-195 (2000).
- [10] Imamizu, H., Kuroda, T., Yoshioka, T., and Kawato, M.: Functional magnetic resonance imaging examination of two modular architectures for switching multiple internal models, Journal of Neuroscience, 24(5), 1173-1181 (2004).