自動模倣傾向の個人差が 観察による運動学習の効率に与える影響

竹内竜也¹⁾・幾留沙智²⁾・森 司朗²⁾・石倉忠夫³⁾・中本浩揮²⁾

The Influence of Individual Difference in Automatic Imitation Tendency on Efficiency in Observational Learning

Tatsuya Takeuchi¹, Sachi Ikudome², Shiro Mori²,
Tadao Ishikura³, and Hiroki Nakamoto²

Abstract

The purpose of the present study was to clarify the influence of individual differences in the automatic imitation tendency on efficiency in observational motor learning. First, twenty participants each having higher or lower automatic imitation tendency were chosen from 210 according to their reaction times in the imitation-inhibition task indicating automatic imitation tendency. Each group performed the observational motor learning that alternately repeated action observation and execution. The participants in each group were further divided into two groups: appropriate model group that observed a model performing the task correctly and inappropriate model group that observed a model performing the task incorrectly. Results revealed that when participants observed the appropriate model, people with higher imitation tendency demonstrated better task performance in the acquisition phase and retention test than did those with a lower imitation tendency. On the other hand, when the participants observed the inappropriate model, the higher imitation tendency group exhibited lower performance in the acquisition phase and the retention test than did the lower imitation tendency group. Additionally, the higher tendency group was more influenced by difference between the appropriate and inappropriate model than was the lower tendency group in learning efficiency. These findings indicate that individual differences in the automatic imitation tendency affect the learning efficiency and retention in observational motor learning. Further, automatic imitation is likely to have a strong influence on observational motor learning regardless of the learners' intention.

Key words: observational learning, modeling, imitation learning, automatic imitation, learning efficiency

1) 鹿屋体育大学 体育学研究科 博士後期課程

〒891-2393 鹿児島県鹿屋市白水町1

2) 鹿屋体育大学 体育学部

〒891-2393 鹿児島県鹿屋市白水町1

3) 同志社大学 スポーツ健康科学部

〒610-0321 京都府京田辺市多々羅都谷1-3

連絡先: 中本浩揮

E-mail: nakamoto@nifs-k.ac.jp

1 Graduate School of Physical Education, Doctor's Course,
National Institute of Fitness and Sports in Kanoya

1 Shiromizu, Kanoya, Kagoshima, 891-2393

2 Faculty of Physical Education, National Institute of Fitness
and Sports in Kanoya

1 Shiromizu, Kanoya, Kagoshima, 891-2393

3 Faculty of Health and Sports Science, Doshisha University

1-3 Tataramiyakodani, Kyotanabe, Kyoto, 610-0321

Corresponding author: Hiroki Nakamoto

I 緒 言

運動学習において、学習者がモデルを観察して模倣することは最も基礎的な学習方法である。そのため、体育やスポーツの指導場面において、教師やコーチは学習者に自らの示範を観察させることが多い。このような学習形態は、観察学習やモデリング、あるいは模倣学習と呼ばれ、モデルの観察によって、運動遂行方略 (e.g., Martens et al., 1976)、運動の時・空間的協応パターン (Ashford et al., 2006, 2007) やダイナミクス (Mattar and Gribble, 2005)、効果器末端の動き (Hodges et al., 2007)、あるいは誤差検出・修正過程 (e.g., Andrieux and Proteau, 2016; Black and Wright, 2000; Black et al., 2005) が学習されると報告されている。さらに、神経科学分野においても、運動の出力に必要な運動記憶は、単に他者の運動学習を観察するだけでも形成されることが明らかにされている (e.g., Stefan et al., 2005)。このような身体エネルギーを要さず、身体練習と同等の効果が得られる観察による学習は、効率的な運動スキル習得に有用である。しかし一方で、全く同じモデルを観察したにもかかわらず、数回見るだけで学習する者がいれば、数十回以上見ても学習できない者もいるように、学習効果に個人差が生じることはしばしばある。そのため、観察による運動学習によって何が獲得されるかといった検討に加え、その学習効果を何が変調させるのかを明らかにすることは、より効果的な運動スキルの習得方法を明らかにする上で重要な課題と思われる。

運動学習研究において、観察による学習効果を説明する最も優勢な理論は、観察と行為との間に認知表象の媒介を仮定するBandura (1986) の理論である。より具体的には、観察内容の心的リハーサルや組織化が可能なように、観察した情報をシンボリックな記憶表象に変換し、その記憶表象を基準に運動を再生し、エラー検出・修正することで運動を学習するという考えである。この理論を背景にして学習効果の変調要因を検討した研究では、注意、保持、運動再

生、動機づけといったBandura (1986) が仮定する4つのサブプロセスに着目し、モデルのどこに注意を向けるか (e.g., D'Innocenzo et al., 2016; Janelle et al., 2003)、どのようにモデルを呈示するか (e.g., Ishikura and Inomata, 1995, 1998)、あるいは、どのようなモデルを呈示するか (e.g., 伊藤, 1981; Landers and Landers, 1973; McCullagh and Meyer, 1997; Pollock and Lee, 1992; Weir and Leavitt, 1990) などの研究が行われてきた (for review, Ste-Marie et al., 2012)。つまり、学習効率の変調要因を検討したこれまでの研究は、主に学習者の知覚プロセスに焦点を当てて発展してきたといえる。このことは、観察による運動学習が知覚学習に分類されることから明らかである (Schmidt et al., 2017)。

これらの研究によって、学習の変調要因が特定されてきた一方で、主に社会行動の習得を説明するために提案されたBanduraの理論は、運動スキル習得の説明に適合しない可能性があることから (e.g., ウィリアムズ・麓, 1995)、新たな枠組みからも検討する必要があることが指摘されている (e.g., Hodges et al., 2007)。その1つのアプローチとして、他者の行為の知覚と自己の運動の産出のより直接的な変換過程に着目した研究が挙げられている (e.g., Lago-Rodriguez et al., 2013; Vogt and Thomaschke, 2007)。この背景には、運動の知覚と運動の遂行に関わる認知表象は、一部その表象を共有しているという考えや (共通符号仮説: Prinz, 1997)、自己の運動遂行時に活性する運動前野などの脳領域は、他者の運動を観察するだけでも活性するという発見 (ミラーニューロンシステム: Gallese et al., 1996; Iacoboni et al., 1999) が関係している。前述したように、Banduraの理論では、認知表象を媒介とした間接的な知覚-運動変換メカニズムを想定することから (e.g., Bandura, 1986; Carroll and Bandura, 1987)、より自動的・直接的な知覚-運動変換メカニズムを基に、観察による運動学習の変調要因を検討していくことは新たな知見の集積につながるものと思われる。

他者の運動観察が自動的に自己の運動遂行に影響する行動的な現象の1つに、自動模倣 (automatic imitation) がある (for review, Cracco et al., 2018; Heyes, 2011; Ikegami et al., 2019). 例えば, Brass et al. (2000) は, 画面に呈示される数字刺激に対応して, 人差し指または中指を素早くボタンから離す指あげ反応課題 (模倣抑制課題) を実験参加者に行わせた (1 ならば人差し指, 2 ならば中指). このとき, 数字刺激の背景には, モデルが人差し指あるいは中指をあげる映像が同時に呈示される (図1A参照). ここでの参加者の課題は, 呈示された数字に応じて指をあげることであり, 数字と一緒に呈示されるモデルの動作は参加者の課題遂行に全く無関係な情報である. しかしながら, この研究では, 課題と無関係なはずのモデル動作と数字刺激が不一致な場合 (例えば, 数字1のとき, 中指をあげるモデルが呈示される場合) は, 一致する場合よりも反応時間が遅くなった. この反応遅延は, 背景に呈示されたモデルの動作を自動的に模倣したこと, すなわち, 他者の運動観察が自己の運動を自動的に誘発してしまうことが原因で生じたと解釈されている (同様に自動模倣の存在を示す証拠として, Cook et al., 2012; Heyes et al., 2005; Ikegami et al., 2018; Liepelt and Brass, 2010; Longo et al., 2008; Longo and Berthenthal, 2009; Press et al., 2008; Spengler et al., 2010). このように, 自動模倣とは, 観察した他者の運動が非意図的に観察者の運動に影響する現象であり, 観察のみによって生じる脳の運動関連領域の活性を反映していると考えられている (Heyes, 2011). また, Heyes (2011) は, 他者の運動の観察に基づく模倣には, 新奇な行動の獲得を可能にする複雑で意図的な模倣と類似運動を複製するだけの単純で不随意な模倣の全く異なるタイプの模倣があるが (e.g., Tomasello, 1996), 自動模倣の観点から両者が同じ心理メカニズムによって媒介されている可能性を指摘している. 以上の知見に基づけば, 他者の運動観察は自動的に自己の運動遂行に関与する中枢システムを活性 (自動的・直接的な知覚-運動変換) させ, 行動レベ

ルでも自動模倣が生じることで, 運動学習が生じると考えられる. 言い換えれば, 観察による運動学習では意図的に他者の運動を模倣するだけでなく, 観察者が非意図的なレベルで模倣を繰り返すことによって運動が学習されていくことを示唆する.

また, 自動模倣は意図的な模倣よりも学習に強く影響する可能性がある. 例えば, 実験参加者に垂直方向に腕を繰り返し振る動作を要求し, その際, 他者が行う不一致な動作 (水平方向に繰り返し腕を振る動作) を観察させると, 参加者の運動軌跡は水平方向に偏向する (Kilner et al., 2003). また, スポーツ動作 (ダーツ) を用いた研究では, 熟練者に非熟練者の動作を観察させ, 行為結果の予測を繰り返させると, 熟練者のダーツのパフォーマンスは低下する (Ikegami and Ganesh, 2014). これらの実験が示すことは, 観察した他者の運動が自己の目標達成に不利益な場合でも, 非意図的に自己の運動遂行に作用してしまうということである (同様に, Bach et al., 2007; Brass et al., 2000, 2001; Ikegami et al., 2018; Spengler et al., 2010; Stürmer et al., 2000). これまで意図的な模倣と自動模倣の学習効率を直接比較した研究は見当たらないが, 上述の研究は, 観察による学習において, 自動模倣は意図的な模倣を超えて学習効率に作用する可能性があることを示唆する.

さらに, この自動模倣の生じやすさ (自動模倣傾向) には個人差があることが指摘されている. 例えば, Hogeveen and Obhi (2013) は, 自己中心性 (ナルシシスト傾向) と自動模倣傾向の関係を調査した結果, 自己中心性の高い実験参加者ほど, 前述したBrass et al. (2000) の課題において反応遅延, すなわち, 自動模倣が生じにくいことを報告している (同様に, Obhi et al., 2014). また, Cook and Bird (2012) は, 健常者は自閉症がある者に比べて, 向社会的行動においてより強い自動模倣を示すことを報告している. このような自動模倣傾向の個人差の存在は, 必ずしも統一した見解ではないが (Cracco et al., 2018), 個人に内在する様々な心理要因によって自動模倣傾向には個人差が生じ

ると考えられる。よって、仮に観察による運動学習に自動模倣が関わっているならば、自動模倣傾向の個人差は運動学習の効率にも影響する可能性がある。

以上から、本研究では自動模倣傾向の個人差が観察による運動学習の効率に影響を与えるかどうかについて明らかにすることを目的とした。この目的を達成するためには、各個人の持つ自動模倣傾向を定量化し、その個人差と観察による学習の効率との関係を検討する必要がある。そこで本研究では、前述した模倣抑制課題 (Brass et al., 2000; Spengler et al., 2010) における反応時間を各個人の自動模倣傾向の指標として用いる。具体的には、まず多数の対象者に模倣抑制課題を実施し、その中から自動模倣傾向の高い者と低い者を抽出する。次に、自動模倣傾向の高い者と低い者に観察による運動学習を行わせる。仮に、自動模倣傾向の個人差が運動学習の効率に影響するのであれば、自動模倣傾向の高い者の方が低い者に比べて、学習が早期に成立し、保持に優れると考えられる。

しかし、これだけでは観察による運動学習に、自動模倣が影響したのか、意図的な模倣が影響したのか不明である。すなわち、自動模倣傾向が高い参加者を選定したとしても、これらの参加者は意図的な模倣にも優れる可能性が同様にあるからである。そこで本研究では、それぞれの群を、正しいパフォーマンスを遂行するモデルを観察する群 (適切モデル群) と誤ったパフォーマンスを遂行するモデルを観察する群 (不適切モデル) の2群にさらに分けた。前述したように、自動模倣の特徴の1つは、観察者が意図しない (望まない) 運動でも非意図的に自己の運動遂行に影響するという点である。すなわち、仮に自動模倣傾向の個人差が観察による学習に影響するのであれば、適切モデルの結果とは異なり、不適切モデルを観察する場合は、自動模倣傾向の高い者の方が低い者よりも学習効率が悪くなると考えられる (仮説1)。さらに、自動模倣傾向の高い者は、適切モデルで学習する場合と不適切モデルで学習する場合では、学習効率の差異が顕著になるが、自動模

倣傾向が低い者ではモデル間での差異は小さいと考えられる (仮説2)。以上の結果が支持されれば、観察による運動学習において自動模倣が影響すること、またその個人差が学習効率を変調させる要因であることが明らかになると考えられる。

II 実験方法

1. 実験参加者

自動模倣傾向の高い者と低い者を弁別するために、右利きの体育大学学生210名 (年齢: 20.6 ± 1.5 歳; 男性: 152名, 女性: 58名) が実験参加者として模倣抑制課題に参加した。尚, 利き手の判定は参加者の自己申告とした。模倣抑制課題で得られた反応時間の度数分布に従い (図2), 上位20名 (年齢: 20.5 ± 1.1 歳; 男性: 14名, 女性: 6名) を自動模倣傾向の高い群, 下位20名 (年齢: 20.3 ± 1.2 歳; 男性: 13名, 女性: 7名) を自動模倣傾向の低い群として分類し、観察による運動学習実験に参加させた。参加者には、実験の実施前に実験手順および個人情報保護について説明し、十分な理解を得た上で参加の同意を得た。また、本研究は鹿屋体育大学における倫理審査の承認 (第8-33号) を得たものである。

2. 実験課題および装置

1) 模倣抑制課題

自動模倣傾向を評価するために、先行研究の模倣抑制課題 (Brass et al., 2000; Spengler et al., 2010) を参考に課題を作成した (図1A)。この課題では、数字刺激 (1か2) と画像刺激 (人差し指もしくは中指があがっているモデルの手の静止画像) の組み合わせによる4種類の刺激がディスプレイ上に呈示される (数字刺激はすべて同じ位置に呈示)。実験参加者は、右手の人差し指と中指を反応ボタンの上に置き、押し下げた状態で刺激呈示を待ち、呈示された数字に応じて (1は人差し指, 2は中指), できるだけ素早く指をあげる選択反応が求められた。つまり、数字刺激の命令と画像刺激の動作が同じ一致条件および、異なる不一致条件の2

条件に対して選択反応を行うことになる。

実験参加者には、課題に慣れるための練習試行を5試行、続いて、本試行として100試行行わせた。その際、20試行を1セットとし、1セットに含まれる呈示刺激の種類は、一致条件および不一致条件ともに10試行ずつ、計5セット行わせた。各セット間の休息は2分とした。なお、実施順序による影響を相殺するために、

刺激の呈示順序はセットごとにランダムで呈示した。刺激呈示は15.6インチのモニターが付属しているノートパソコン（HP社製、Probook 4510s）を使用し、反応はパソコンにUSB接続された反応スイッチ（テクノウェーブ社製、KB-IOPAD4）によって取得した。また刺激の呈示および反応時間の測定は、視覚・聴覚刺激呈示ソフトウェア（Neurobehavioral Systems社

A

刺激 \ 反応	人差し指	中指
一致条件
不一致条件

B

図1 模倣抑制課題に使用した刺激画像（A）および、学習に使用した指パッチング課題（B）

製, Presentation) を使用した。これにより、一致刺激または不一致刺激呈示から指あげまでの時間を、それぞれ一致反応時間と不一致反応時間として求め、その差分（不一致反応時間－一致反応時間）を自動模倣傾向の指標とした。自動模倣が生じた場合、一致反応では反応時間が短縮し、不一致反応では反応が遅延することから (Brass et al., 2000; Spengler et al., 2010), この値が小さいほど自動模倣傾向が低いこと、大きいほど自動模倣傾向が高いことを意味する (図2)。

3. 観察による運動学習

学習課題として、観察による運動学習を調査した研究を参考に (Lago-Rodriguez et al., 2013), 人差し指でボールを目標位置に打つ指パッティング課題を行わせた (図1B)。この課題は、67cm離れた位置にある同心円状的の中心を狙い、右手人差し指の外転運動によってボール (直径2.2cm) を押し出すものである。

的は中心 (直径2.6cm) を10点とし、中心から外に2.6cm外れるにつれ1点ずつ減っていくものを用いた。学習中においては、実験参加者はモデル映像を観察した後に、指パッティング課題を行うことが求められた。モデル映像は、モデルの視点から撮影されたもので、モデルの右手、的、およびボールを含む全体の状況が含まれていた。さらに、的の中心でボールが止まるように正しいパフォーマンスを行うモデルの映像 (適切モデル映像)、および、的の中心までボールが届かない (的の手前側の5点の位置に止まる) もしくは中心を通り過ぎてボールが止まる (的の奥側の5点の位置に止まる) パフォーマンスを行うモデルの映像 (不適切モデル映像) の2種類を撮影した。呈示映像は、黒い背景に白の十字からなる2000msの予告刺激、およびモデルが右手人差し指で止まっているボールを打つ映像 (3500ms) に編集して呈示した。

図2 模倣抑制課題における不一致反応時間から一致反応時間を減じた値 (自動模倣傾向) の度数分布

4. 実験手続き

まず、学習を行う前に、模倣抑制課題の結果に基づいて群分けを行った。図2は、210名の模倣抑制課題における不一致反応時間と一致反応時間の差分時間の度数分布（5msごと）を示したものである。この分布に従い、上位20名を自動模倣傾向高群（ $67.8 \pm 4.4\text{ms}$ ）、下位20名を自動模倣傾向低群（ $5.6 \pm 3.2\text{ms}$ ）として抽出した。さらに、自動模倣傾向高群と低群の実験参加者の各20名を、前述の適切モデル映像を観察する適切モデル群と不適切モデル映像を観察する不適切モデル群に10名ずつ無作為に振り分けた。すなわち、自動模倣傾向（高、低）×モデル（適切、不適切）の4群が学習に参加した。

次に、学習前のパフォーマンスを測定するため、プレテストとして、モデルの観察なしで指パッチング課題を行わせた。この実験で用いた指パッチング課題は、単純な動作であるため学習が容易に成立する（Lago-Rodriguez et al., 2013）。よって、課題の学習を防ぐためにプレテストの試行数は5試行とした。プレテスト終了後、習得試行において、両群とも映像を観察した後に指パッチング課題を行う学習を30試行実施した。映像観察は5試行ごとに行い、5試行を1セットとして6セット行わせた。各セット間の休息は2分とした。また、映像観察中に意図的に指を動かさないように参加者に教示した。習得試行終了後、モデル映像なしで、両群ともポストテストを5試行実施し、習得試行終了から24時間後に保持テストを5試行行った。参加者にはすべての試行において、高い得点が出るように遂行することを教示した。

5. 測定項目

指パッチング課題のパフォーマンスを評価するために、ボールが止まった位置を得点として記録した。得点は、ボールが的の中心で止まった場合10点とし、外に外れるにつれ1点ずつ減っていき、同心円状的の中心の上で止まらないものに関しては0点とした。

6. データ分析

まず、各テストおよび各習得期で行われた5試行の平均得点を求め、それぞれの局面のパフォーマンス得点とした。学習中のパフォーマンスの群間の差異を検討するために、習得期のパフォーマンス得点に関して、自動模倣傾向（高、低）×モデル（適切、不適切）×学習局面（習得1-6）の3要因分散分析を行った。また、自動模倣傾向の違いによって学習の効果に差が生じるかを検討するために、テスト時のパフォーマンス得点に関して、自動模倣傾向（高、低）×モデル（適切、不適切）×テスト（プレテスト、ポストテスト、24時間保持テスト）の3要因分散分析を行った。主効果の検定にはBonferroniを用い、1次および2次の交互作用が有意であった場合には単純主効果検定または単純・単純主効果検定を行った。その際も同様にBonferroniを用いて調整した。本研究の統計処理にはSPSS（IBM社製、SPSS for Windows 22）を使用し、統計的有意水準はいずれも危険率5%以下とした。

Ⅲ 結 果

1. 学習中のパフォーマンス

図3は、各群の指パッチング課題のパフォーマンス得点の変化を示している。まず、学習中の群間のパフォーマンスの差異を検討するために、習得1から6のパフォーマンス得点に関して、3要因分散分析を行った結果、自動模倣傾向（ $F(1, 36) = 5.53, p < .05, \eta_p^2 = .13$ ）、モデル（ $F(1, 36) = 17.69, p < .01, \eta_p^2 = .33$ ）、学習局面（ $F(5, 180) = 20.04, p < .01, \eta_p^2 = .36$ ）の主効果が有意であった。さらに、自動模倣傾向とモデルの交互作用が有意であった（ $F(1, 36) = 30.27, p < .01, \eta_p^2 = .46$ ）。学習局面に関する多重比較の結果（図4A）、習得5と6のパフォーマンス得点は、学習局面前期（習得1-3）より有意に高かった（ $ps < .01$ ）。学習局面後期の習得4から習得6のパフォーマンス得点の間に差は認められなかった。よって、本研究で用いた課題の学習は比較的早期に成立したと考えられる。

次に、自動模倣傾向×モデルの交互作用に関して、単純主効果検定を行った結果（図4B）、適切モデルを観察した群では、自動模倣傾向の高い群の方が低い群よりもパフォーマンス得点

が有意に高かった（ $p<.01$ ）。それとは異なり、不適切モデルを観察した群では、自動模倣傾向が低い群の方が高い群よりもパフォーマンス得点は有意に高かった（ $p<.05$ ）。さらに、自動

図3 指パッティング課題の学習による各群のパフォーマンス変化（学習曲線）

図4 学習局面における各群のパフォーマンス得点（A：全群の平均，B：各群の習得1-6の平均）

模倣傾向が高い者の内、適切なモデルを観察した群は、不適切なモデルを観察した群よりもパフォーマンスが有意に高かった ($p<.01$)。すなわち、学習中に関しては、自動模倣傾向が高い者は低い者に比べ、適切なモデルを観察すると学習が促進され、不適切なモデルを観察すると学習が阻害されることが示された。

2. テスト時のパフォーマンス

テストにおけるパフォーマンスの群間の差異を検討するために、3要因分散分析を行った結果、テストの主効果 ($F(2, 72) = 23.42, p<.01, \eta_p^2 = .39$)、モデルの主効果 ($F(1, 36) = 5.68, p<.05, \eta_p^2 = .14$)、さらに、2次の交互作用が有意であった ($F(2, 72) = 5.52, p<.01, \eta_p^2 = .13$) (図5)。単純・単純主効果検定の結果、4つの群全てにおいてプレテストからポストテストにかけてパフォーマンスが有意に向上した ($ps<.05$)。よって、全群とも学習が成立したと考えられる。一方、自動模倣傾向が高く適切

なモデルを観察した群、および自動模倣傾向が低く不適切なモデルを観察した群では、ポストテストから保持テストにかけてパフォーマンスが保持されていたが、その他の2群ではパフォーマンスが有意に低下していた ($ps<.01$)。

さらに、適切なモデルを観察した群においては、自動模倣傾向の高い群は低い群よりもポストテスト ($p<.05$) と保持テスト ($p<.01$) で有意に高いパフォーマンスを示したが、これとは逆に、不適切なモデルを観察した群においては、自動模倣傾向の低い群の方が高い群よりも保持テストにおいて有意に高いパフォーマンスを示した ($p<.05$)。

また、自動模倣傾向の高い群において、適切なモデルを観察した群の方が不適切なモデルを観察した群よりもポストテストと保持テストでパフォーマンスが有意に高かったが ($ps<.01$)、自動模倣傾向の低い群においては、観察したモデルによる差異は認められなかった。

図5 テスト時の各群のパフォーマンス得点

IV 考 察

本研究では、自動模倣傾向の個人差が観察による運動学習の効率に影響を及ぼすかを検証するために、各参加者の自動模倣傾向を模倣抑制課題によって定量化し、自動模倣傾向の高い群と低い群に分けて、学習中のパフォーマンスおよび学習の保持について比較した。仮説に対する主要な結果として、適切なモデルを観察した場合、自動模倣傾向が高い者は低い者に比べ、学習中のパフォーマンスが高く、ポストテストと保持テストにおいても高いパフォーマンスを示した。一方、不適切なモデルを観察した場合、むしろ自動模倣傾向が低い者の方が高い者よりも、学習中のパフォーマンスおよび保持テストで高いパフォーマンスを示した。さらに、自動模倣傾向が高い者では、モデルが適切なパフォーマンスを行っているか否かといった呈示モデルの違いによって学習効果の差異が顕著であったが、自動模倣傾向が低い者ではその差異は小さかった。以上の結果は、本研究の仮説を支持するといえる。

まず重要な結果として、まったく同じモデルを観察したにも関わらず、モデルが適切であった場合、自動模倣傾向が高い者は低い者よりも指パッティングを高い水準まで学習し、そのパフォーマンスを保持した。すなわち、自動模倣傾向の個人差は、観察による運動学習効率の個人差を説明できる可能性が示された。これまでの研究では、認知表象の媒介を前提とした知覚-運動変換過程の学習への関与を仮定し、主に知覚方略に焦点を当てて学習効果の変調要因を同定してきた (e.g., D'Innocenzo et al., 2016; Janelle et al., 2003)。それに対し、本研究では、自動的で直接的な知覚-運動変換過程を仮定し、自動模倣傾向の観点から検討した結果、自動的な知覚-運動変換過程は観察による運動学習に重要な機能であり、学習効率を変調させる要因であることが明らかになった。自動模倣がどのように運動記憶の形成に貢献したかについては更なる検討が必要ではあるが、他者の運動の観察による自己の運動システムの自動的な活

性の繰り返しが学習に繋がったと推測される。

一方で、上述の結果は、自動模倣だけではなく、意図的な模倣の個人差を反映する可能性もある。本研究では、この可能性を除外するために、不適切モデルを観察しながら運動学習を行う群も設定した。仮に、上述の結果が自動模倣に由来していたならば、指パッティング課題で高い得点を取ることが参加者の目的であったとしても、自動模倣傾向が高い者は不適切なモデルの運動を非意図的に学習し、低いパフォーマンスを示すと考えられる。それに対し、自動模倣傾向と無関係であれば、不適切なモデルであったとしても、意図的にモデルのエラーを学習するなどによって (e.g., Andrieux and Proteau, 2016)、学習が促進されると考えられる。結果として、不適切モデルを観察した場合、自動模倣傾向が高い群と低い群では、適切モデルで観測されたような学習効果の差は認められず、むしろ、習得期および保持テストにおいて、自動模倣傾向が高い群の学習効果は低い群の学習効果よりも低かった。本研究の不適切モデル観察群は、観察モデルを真似することではなく、習得期でもテスト時でも高い得点を取るように教示されていたことから、意図的に不適切なモデルを模倣したとは考えにくい。また、モデルの違いによる学習への影響は、自動模倣傾向の高い群で明確に認められ、低い群ではそれほど明確ではなかった。よって、本研究の結果は、意図的な観察による学習を超えて、自動模倣が運動学習に影響したことを示すものと思われる。すなわち、観察による運動学習において、自動模倣傾向の個人差は学習効率を変調させる強い要因であると考えられる。

ただし、今回得られた知見は、新奇でより複雑な運動の学習には適用できない可能性がある。その理由は、自動模倣のような他者観察による自己運動への影響は、観察者の運動経験に強く依存すると考えられるためである。具体的には、他者の運動観察時に生じる脳の運動関連領域の活性は、自己が経験したことのない運動では活性が低くなる (e.g., Calvo-Merino et al., 2005, 2006)。同様に、自動模倣も感覚運動経

験の影響を受ける (e.g., O'Sullivan et al., 2018; Press et al., 2007). すなわち、本研究のような誰もが可能な単純な運動ではなく、スポーツに見られるような複雑で新奇な運動の学習では、自動的な知覚-運動変換そのものが機能せず、そもそも自動模倣傾向に個人差が生じない可能性がある。ただし、観察と運動を繰り返す感覚運動経験によって、他者の運動観察時における脳の運動関連領域の活性や自動模倣は促進されるため (e.g., Catmur et al., 2007; O'Sullivan et al., 2018), 少なくとも学習後半には自動模倣傾向の学習への影響が顕在化すると思われる。これらの考えは推測の域をでないため、自動模倣傾向の個人差が複雑な運動の学習にも影響するかを直接検討する必要がある。例えば、複雑で新奇な運動を対象としたより長期間の学習実験や自動模倣傾向と競技成績の関係を調査することが有効であると思われる。このような研究は、直接的な知覚-運動変換過程および自動模倣が運動学習に及ぼす影響をより明確にできるだけでなく、自動模倣の機能が経験によって促進されるものかどうかを検討することも可能にできると思われる。

興味深い結果として、自動模倣傾向が低い者で不適切モデルを観察した者は、模倣傾向が高い者で不適切モデルを観察した者よりも学習の高い保持を示した。一方でこのような保持は、適切モデルを観察した者では観測されなかった。つまり、自動模倣傾向が低い者は、適切なモデルより不適切なモデルを呈示した方が学習効果は高いということである。この結果は、主に意識的な観察による学習を扱ってきた先行研究と類似する結果である。例えば、春木 (1977) は、高さの弁別課題を用いて、正示範および誤示範が観察による学習に及ぼす影響を検討している。その結果、完全な誤示範を観察する方が正示範および誤示範を混同して観察するよりも成績が良くなることを報告している。同様に、頻繁に大きなエラーをするモデルを観察する方がエラーをあまりしないモデルを観察するよりも学習が促進されることが報告されている (e.g., Blandin and Proteau, 2000). このような

結果の背景には、観察によるエラー検出・修正過程の学習があると考えられる (Andrieux and Proteau, 2016). 本研究では、このようなエラーの観察 (不適切モデルの観察) による学習は自動模倣傾向が低い者で顕著に示された。このことは、自動模倣傾向の低い群では、自動的な知覚-運動変換、すなわち、不適切モデルの観察による自動模倣の誘発があまり生じず、意識的なエラー学習が優先的に運動学習に作用したと考えられる。それに対し、自動模倣傾向が高い者で不適切モデルを観察した者では学習効果が保持されなかったことは、意識的なエラー学習よりも自動模倣による運動学習が優先されたことに起因していると考えられる。これらのことから、自動模倣傾向の高低は、運動の学習に関与するプロセスの優先度を規定するものと思われる。

一方、自動模倣では観察運動のエラーが全く影響しないわけではないと思われる。Ikegami and Ganesh (2014) は、他者の動作を観察する際の予測誤差 (prediction error) が自動模倣を変調させることを報告しており、このような自動模倣は予測誤差誘発伝染 (prediction error-induced contagion: Ikegami et al., 2019) と呼ばれる。ここで言う予測誤差とは、観察対象の運動結果などに関する観察者の予期と実際の結果の誤差である。予測誤差によって誘発される自動模倣は、通常自動模倣が観察運動と類似する方向に変化するのに対し、観察運動の予測誤差を修正する方向に自己の運動が変調する (Ikegami et al., 2018). これに従えば、自動模倣の高い者が不適切モデルを観察する場合であっても、モデルが的の中心を狙っているという予期を持って観察した場合、予測誤差が生じ、その誤差を修正するように自動模倣が生じることになる。本研究では、不適切モデルの映像を繰り返し示したため、参加者には予期 (モデルが行う運動でボールは5点の位置に止まるという予測) と実際の結果の間に予測誤差は生じない状況であった。そのため、観察した運動と類似する方向に自動模倣が生じたと考えられる。すなわち、自動模倣はエラーによる学習機

能を有していないわけではなく、本研究では予測誤差が生じなかったため、不適切モデルの観察では学習効果が認められなかったと考えられる。言い換えれば、自動模倣が高い者が不適切モデルを観察する場合には、観察者の予期を操作することで適切な学習効果が得られる可能性があるといえよう。

V 結 論

これまで述べてきたように、本研究では、知覚と運動の直接的な変換メカニズムを媒介とする自動模倣の個人差が観察による運動学習の効率に影響することが明らかになった。また、このような自動模倣は、意識的な学習を超えて強く影響する可能性がある。よって、今後は知覚と運動の直接的な変換メカニズムを想定した観察による運動学習の研究を積み上げることで、より効果的な学習方法の提案につながると考えられる。例えば、自動模倣は、観察と同時に行うイメージ (Eaves et al., 2014) やワーキングメモリへの高負荷 (van Leeuwen et al., 2009) によって促進される。

一方、本来、スポーツにおける運動学習は、観察対象を完璧にコピーすることが目的ではない。朝岡 (2005) は、他者の運動の模倣を「コピー」と「なぞり」に分け、コピーは外形だけを真似ること、なぞりはモデルの視点に立って、モデルが体験している心情や身体感覚を自らの中に再現することとしている。また、なぞりに至るには、無意識的模倣から意識的模倣、そしてイメージあるいは概念によって行動を先取りし、再現する観念的感応へと発展させることが重要であると述べている。すなわち、自動的な知覚-運動変換を行う模倣からより高次なレベルでの表象を媒介とした模倣が運動の学習に重要であるということを示唆する。そのため、学習の異なる段階において、どのようなメカニズムが作用するかを明らかにしていくことが、観察による学習を本質的に理解する上で重要と考えられる。

謝 辞

本研究の全体の推進にあたり、鹿児島大学の飯干明先生には多くのご助言を賜りました。ここに記して謝意を表します。本研究はJSPS科研費JP 16K12999の助成を受けたものです。

引用文献

- 朝岡正雄 (2005) 動きの模倣とイメージトレーニング. バイオメカニズム学会誌, 29 (1): 31-35.
- Ashford, D., Bennett, S. J., and Davids, K. (2006) Observational modeling effects for movement dynamics and movement outcome measures across differing task constraints: A meta-analysis. *J. Mot. Behav.*, 38 (3): 185-205.
- Ashford, D., Davids, K., and Bennett, S. J. (2007) Developmental effects influencing observational modelling: A meta-analysis. *J. Sports. Sci.*, 25 (5): 547-558.
- Andrieux, M. and Proteau, L. (2016) Observational learning: Tell beginners what they are about to watch and they will learn better. *Front. Psychol.*, 7: 51.
- Bach, P., Peatfield, N. A., and Tipper, S. P. (2007) Focusing on body sites: The role of spatial attention in action perception. *Exp. Brain. Res.*, 178 (4): 509-517.
- Bandura, A. (1986) *Social foundations of thought and action: A social cognitive theory*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
- Black, C. B. and Wright, D. L. (2000) Can observational practice facilitate error recognition and movement production? *Res. Q. Exerc. Sport.*, 71 (4): 331-339.
- Black, C. B., Wright, D. L., Magnuson, C. E., and Brueckner, S. (2005) Learning to detect error in movement timing using physical and observational practice. *Res. Q. Exerc. Sport.*, 76 (1): 28-41.
- Blandin, Y. and Proteau, L. (2000) On the cognitive basis of observational learning: Development of mechanisms for the detection and correction of errors. *Q. J. Exp. Psychol. A.*, 53 (3): 846-867.
- Brass, M., Bekkering, H., Wohlschlaeger, A., and Prinz, W. (2000) Compatibility between observed and executed finger movements: Comparing symbolic, spatial and imitative cues. *Brain. Cogn.*, 44: 124-143.
- Brass, M., Bekkering, H., and Prinz, W. (2001) Movement observation affects movement execution in a simple response task. *Acta. Psychol.*, 106 (1-2): 3-22.
- Calvo-Merino, B., Glaser, D. E., Grèzes, J., Passingham, R. E., and Haggard, P. (2005) Action observation and acquired motor skills: An FMRI study with expert dancers. *Cereb. Cortex.*, 15 (8): 1243-1249.
- Calvo-Merino, B., Grèzes, J., Glaser, D. E., Passingham, R. E., and Haggard, P. (2006) Seeing or doing? Influence of visual and motor familiarity in action observation. *Curr. Biol.*, 16 (19): 1905-1910.
- Carroll, W. R. and Bandura, A. (1987) Translating cognition

- into action: The role of visual guidance in observational learning. *J. Mot. Behav.*, 19 (3) : 385-398.
- Catmur, C., Walsh, V., and Heyes, C. (2007) Sensorimotor learning configures the human mirror system. *Curr. Biol.*, 17 (17) : 1527-1531.
- Cook, J. L. and Bird, G. (2012) Atypical social modulation of imitation in autism spectrum conditions. *J. Autism. Dev. Disord.*, 42 (6) : 1045-1051.
- Cook, R., Bird, G., Lünser, G., Huck, S., and Heyes, C. (2012) Automatic imitation in a strategic context: Players of rock-paper-scissors imitate opponents' gestures. *Proc. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.*, 279: 780-786.
- Cracco, E., Bardi, L., Desmet, C., Genschow, O., Rigoni, D., De Coster, L., Radkova, I., Deschrijver, E., and Brass, M. (2018) Automatic imitation: A meta-analysis. *Psychol. Bull.*, 144 (5) : 453-500.
- D'Innocenzo, G., Gonzalez, C. C., Williams, A. M., and Bishop, D. T. (2016) Looking to learn: The effects of visual guidance on observational learning of the golf swing. *PLoS One.*, 11 (5) : e0155442.
- Eaves, D. L., Haythornthwaite, L., and Vogt, S. (2014) Motor imagery during action observation modulates automatic imitation effects in rhythmical actions. *Front. Hum. Neurosci.*, 8, 28.
- Gallese, V., Fadiga, L., Fogassi, L., and Rizzolatti, G. (1996) Action recognition in the premotor cortex. *Brain*, 119 (2) : 593-609.
- 春木 豊 (1977) 観察学習に及ぼす正示範・誤示範の混合比の効果. *教育心理学研究*, 25 (1) : 50-53.
- Heyes, C., Bird, G., Johnson, H., and Haggard, P. (2005) Experience modulates automatic imitation. *Cogn. Brain. Res.*, 22 (2) : 233-240.
- Heyes, C. (2011) Automatic imitation. *Psychol. Bull.*, 137 (3) : 463-483.
- Hodges, N. J., Williams, A. M., Hayes, S. J., and Breslin, G. (2007) What is modelled during observational learning? *J. Sports. Sci.*, 25 (5) : 531-545.
- Hogeveen, J. and Obhi, S. S. (2013) Automatic imitation is automatic, but less so for narcissists. *Exp. Brain. Res.*, 224 (4) : 613-621.
- Iacoboni, M., Woods, R. P., Brass, M., Bekkering, H., Mazziotta, J. C., and Rizzolatti, G. (1999) Cortical Mechanisms of human imitation. *Science*, 286 (5449) : 2526-2528.
- Ishikura, T. and Inomata, K. (1995) Effects of angle of model-demonstration on learning of a motor skill. *Percept. Mot. Skills.*, 80 (2) : 651-658.
- Ishikura, T. and Inomata, K. (1998) An attempt to distinguish between two reversal processing strategies for learning modeled motor skill. *Percept. Mot. Skills.*, 86 (3) : 1007-1015.
- Ikegami, T. and Ganesh, G. (2014) Watching novice action degrades expert motor performance: Causation between action production and outcome prediction of observed actions by humans. *Sci. Rep.*, 4: 6989.
- Ikegami, T., Ganesh, G., Takeuchi, T., and Nakamoto, H. (2018) Prediction error induced motor contagions in human behaviors. *eLife*, 7: e33392.
- Ikegami, T., Nakamoto, H., and Ganesh, G. (2019) Action Imitative and Prediction Error-Induced Contagions in Human Actions. In: Massimiliano L. Cappuccio (ed.) *Handbook of Embodied Cognition and Sport Psychology*. The MIT Press.
- 伊藤政展 (1981) 運動技能の観察学習における異なるパフォーマンス水準のモデルの相対的効率. *体育学研究*, 26 (1) : 11-18.
- Janelle, C. M., Champenoy, J. D., Coombes, S. A., and Mousseau, M. B. (2003) Mechanisms of attentional cueing during observational learning to facilitate motor skill acquisition. *J. Sports. Sci.*, 21 (10) : 825-838.
- Kilner, J. M., Paulignan, Y., and Blakemore, S. J. (2003) An interference effect of observed biological movement on action. *Curr. Biol.*, 13 (6) : 522-525.
- Lago-Rodriguez, A., Lopez-Alonso, V., and Fernández-del-Olmo, M. (2013) Mirror neuron system and observational learning: Behavioral and neurophysiological evidence. *Behav. Brain. Res.*, 248: 104-113.
- Landers, D. M. and Landers, D. M. (1973) Teacher versus peer models: Effects of model's presence and performance level on motor behavior. *J. Mot. Behav.*, 5 (3) : 129-139.
- Liepert, R. and Brass, M. (2010) Top-down modulation of motor priming by belief about animacy. *Exp. Psychol.*, 57: 221-227.
- Longo, M. R. and Bertenthal, B. I. (2009) Attention modulates the specificity of automatic imitation to human actors. *Exp. Brain. Res.*, 192: 739-744.
- Longo, M. R., Kosobud, A., and Bertenthal, B. I. (2008) Automatic imitation of biomechanically possible and impossible actions: Effects of priming movements versus goals. *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.*, 34: 489-501.
- Mattar, A. A. and Gribble, P. L. (2005) Motor learning by observing. *Neuron*, 46 (1) : 153-160.
- Martens, R., Burwitz, L., and Zuckerman, J. (1976) Modeling effects on motor performance. *Res. Q.*, 47 (2) : 277-291.
- McCullagh, P. and Meyer, K. N. (1997) Learning versus correct models: Influence of model type on the learning of a free-weight squat lift. *Res. Q. Exerc. Sport.*, 68 (1) : 56-61.
- Obhi, S. S., Hogeveen, J., Giacomini, M., and Jordan, C. H. (2014) Automatic imitation is reduced in narcissists. *J. Exp. Psychol. Hum. Percept. Perform.*, 40 (3) : 920-928.
- O'Sullivan, E. P., Bijvoet-van den Berg, S., and Caldwell, C. A. (2018) Automatic imitation effects are influenced by experience of synchronous action in children. *J. Exp. Child. Psychol.*, 171: 113-130.
- Pollock, B. J. and Lee, T. D. (1992) Effects of the model's skill level on observational motor learning. *Res. Q.*

- Exerc. Sport., 63 (1) : 25-29.
- Press, C., Bird, G., Walsh, E., and Heyes, C. (2008) Automatic imitation of intransitive actions. *Brain. Cogn.*, 67: 44-50.
- Press, C., Gillmeister, H., and Heyes, C. (2007) Sensorimotor experience enhances automatic imitation of robotic action. *Proc. Biol. Sci.*, 274 (1625) : 2509-2514.
- Prinz, W. (1997) Perception and action planning. *Eur. J. Cogn. Psychol.*, 9 (2) : 129-154.
- Schmidt, R., Lee, T., Winstein, C., Wulf, G., and Zelaznik, H. (2017) *Motor Control and Learning 6th Edition: A Behavioral Emphasis*. Human Kinetics: Champaign IL, pp.315.
- Spengler, S., Brass, M., Kühn, S., and Schütz-Bosbach, S. (2010) Minimizing motor mimicry by myself: Self-focus enhances online action-control mechanisms during motor contagion. *Conscious. Cogn.*, 19: 98-106.
- Stefan, K., Cohen, L. G., Duque, J., Mazzocchio, R., Celnik, P., Sawaki, L., Ungerleider, L., and Classen, J. (2005) Formation of a motor memory by action observation. *J. Neurosci.*, 25 (41) : 9339-9346.
- Ste-Marie, D. M., Law, B., Rymal, A. M., Jenny, O., Hall, C., and McCullagh, P. (2012) Observation interventions for motor skill learning and performance: An applied model for the use of observation. *Int. Rev. Sport. Exerc. Psychol.*, 5 (2) : 145-176.
- Stürmer, B., Aschersleben, G., and Prinz, W. (2000) Correspondence effects with manual gestures and postures: A study of imitation. *J. Exp. Psychol. Hum. Percep. Perform.*, 26: 1746-1759.
- Tomasello, M. (1996) Do apes ape? In C. M. Heyes and B. G. Galef (Eds.), *Social learning in animals: The roots of culture* (pp.319-346). New York, NY: Academic Press.
- van Leeuwen, M. L., van Baaren, R. B., Martin, D., Dijksterhuis, A., and Bekkering, H. (2009) Executive functioning and imitation: Increasing working memory load facilitates behavioural imitation. *Neuropsychologia*, 47 (14) : 3265-3270.
- Vogt, S. and Thomaschke, R. (2007) From visuo-motor interactions to imitation learning: Behavioural and brain imaging studies. *J. Sports. Sci.*, 25 (5) : 497-517.
- Weir, P. L. and Leavitt, J. L. (1990) Effects of model's skill level and model's knowledge of results on the performance of a dart throwing task. *Hum. Mov. Sci.*, 9 (3-5) : 369-383.
- ウィリアムズ, J. G.・麓 信義 (1995) モデリング理論に基づく運動学習研究の現状. *体育の科学*, 45 : 405-408.

(2018.7.10 受稿, 2018.11.8 受理)